المجلد 23 - العددان 10/9
سبتمبر/أكتوبر 2007

SCIENTIFIC AMERICAN
September / October 2007

مجلة العلوم

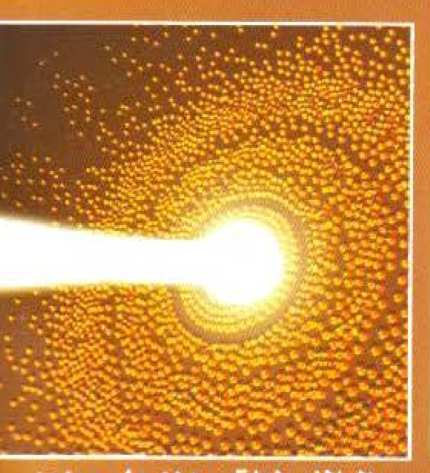
الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي



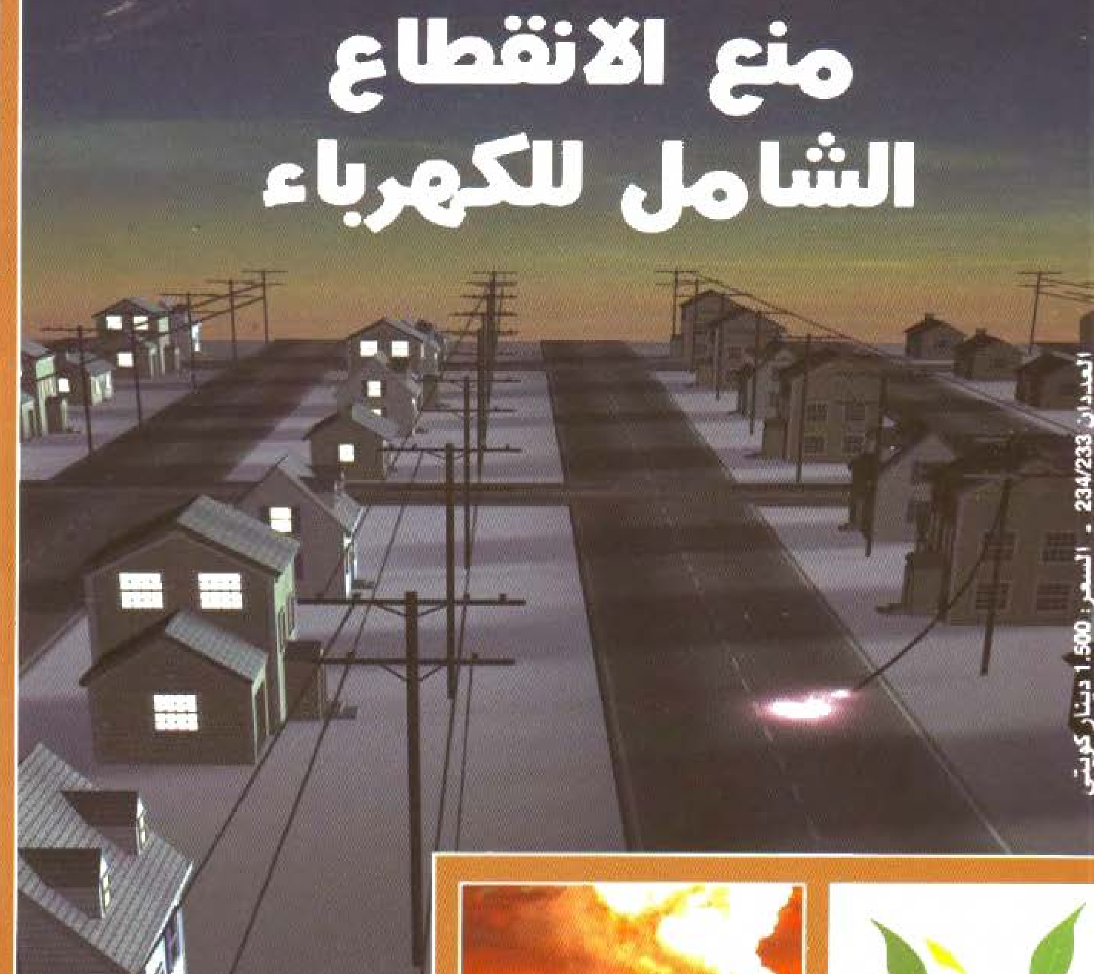
كشف الغموض حول التخدير



ما مدى ذكاء الغربان

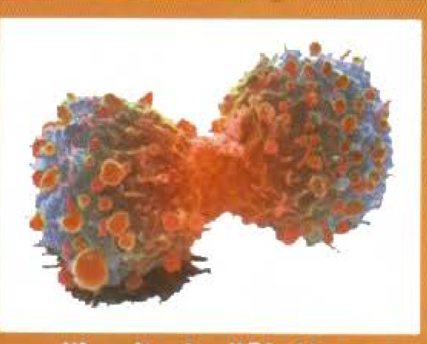


البلازمونيات ميدان علمي واعد

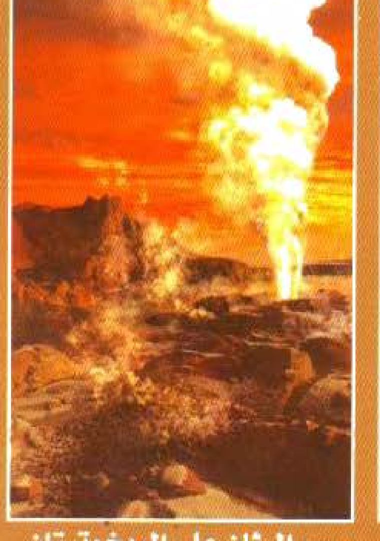


منع الانقطاع الشامل للكهرباء

العددان 234/233 - السعر: 1.500 دينار كويتي



رسم خارطة للجينوم السرطاني



سر الميثان على المريخ وتيتان



التابل المداوي

العلوم

المجلد 23 - العددان 10/9

سبتمبر - أكتوبر 2007

Majallat
AlOloom



المقالات

ترجمة أو مراجعة



مجلة العلوم [illegible] مؤسسة الكويت للتقدم العلمي [illegible] مجلة العلوم [illegible] ساينتفيك أمريكان [illegible] ساينتفيك أمريكان [illegible]

سر وجود الميثان على المريخ وتيتان

إن وجود الميثان في الغلاف الجوي لكل من المريخ وتيتان، قد يعني وجود حياة أو نشاط جيولوجي غير عادي عليهما، ويعد ذلك أحد أعظم الألغاز المحيرة في المنظومة الشمسية.

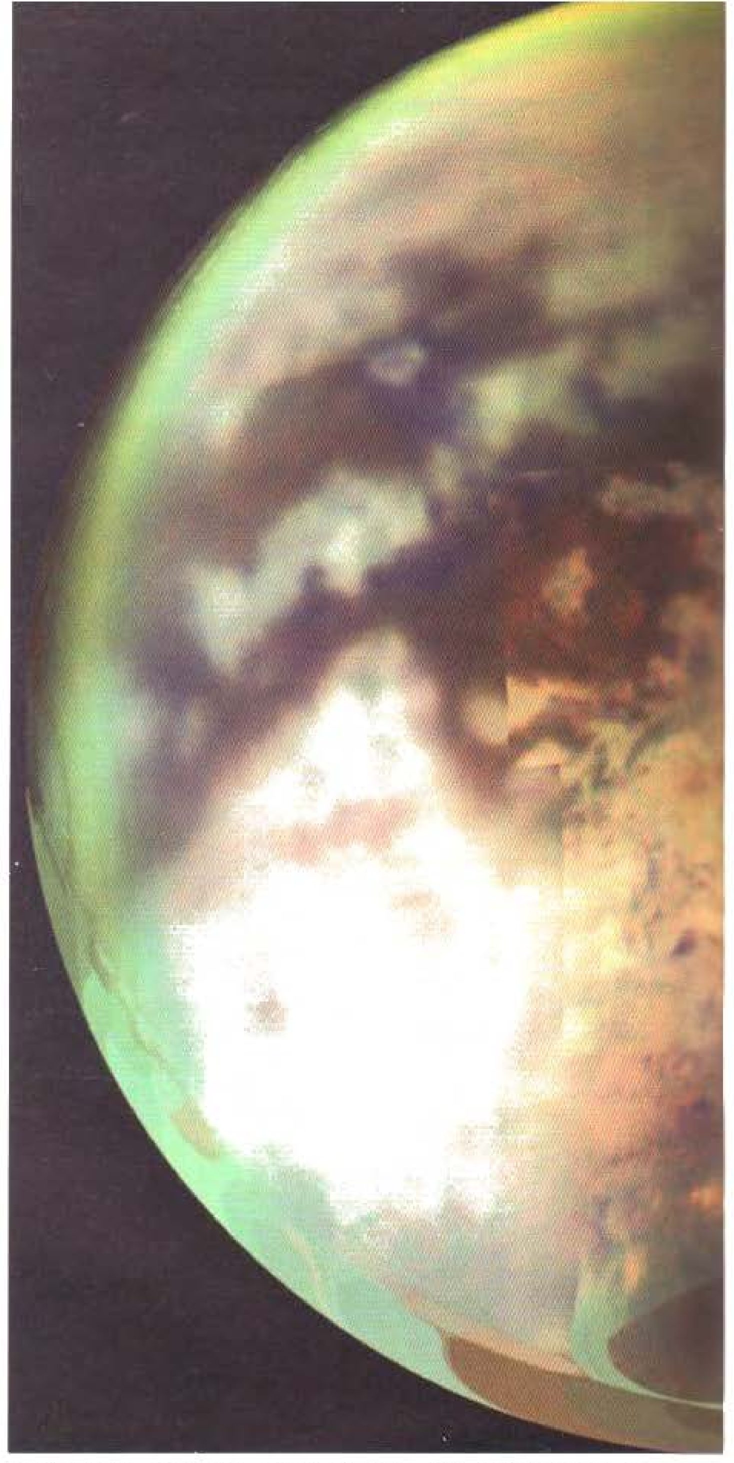
من بين جميع كواكب المنظومة الشمسية فيما عدا الأرض، حظي المريخ على نحو قابل للجدل باحتمالية عظمى لوجود حياة عليه، إما بائدة أو لاتزال قائمة. فهو يشبه الأرض في نواح عديدة: عملية تكوينه والتاريخ المبكر لمناخه ومستودعاته المائية وبراكينه وعملياته الجيولوجية الأخرى. وهذا ما يتوائم مع نشوء أحياء ميكروية (مجهرية). وثمة جسم كوكبي آخر هو تيتان، أكبر أقمار زحل، الذي عادة ما يقحم بصورة روتينية في مناقشات حول علم الأحياء خارج الأرض. فقد امتلك تيتان في المراحل البدائية من تاريخه ظروفا تؤدي إلى تكون جزيئات مبشرة بنشوء حياة. ويعتقد بعض العلماء في احتمال أنه كان ينبض بالحياة حينذاك، وربما ينبض بالحياة الآن.

ومما زاد الهواجس في هذه الاحتمالات، هو أن الفلكيين الدارسين لكلا العالمين قد اكتشفوا غازا غالبا ما يقترن بأشياء حية، وهو الميثان. إذ يوجد في المريخ بكميات صغيرة لكنها ذات مغزى، أما تيتان فإنه، بالمعنى الحرفي، يموج بالميثان. والمصدر البيولوجي (الحيوي) للميثان هو الذي يبدو مقبولا، على الأقل كمصدر جيولوجي بالنسبة إلى المريخ، إذ لم يكن كذلك بالنسبة إلى تيتان. وربما يكون كل من التفسيرين خلابا في حد ذاته، مما يبين إما أننا لسنا وحدنا في الكون أو أن كلا من المريخ وتيتان يؤويان كميات كبيرة من المواد العضوية، إضافة إلى مستويات غير متوقعة من الأنشطة الكيميائية. ولعل فهم أصل الميثان ومصيره على هذه الأجرام سوف يمدنا بأدلة قاطعة عن العمليات التي أدت إلى تكوين وتطور وملاءمة السكنى للعوالم الأرضية في النظام الشمسي، وربما في عوالم أخرى.

والميثان (CH4) متوفر في الكواكب العملاقة مثل المشتري وزحل ويورانوس ونبتون، فهو نتاج عمليات كيميائية لمادة السديم الشمسي الأولي. أما على الأرض فإن الميثان يمثل حالة خاصة، وإن كان الميثان يشكل جزءا من بين 1750 جزءا من البليون في الحجم

THE MYSTERY OF METHANE ON MARS & TITAN

ساد الاعتقاد طويلا في احتمال أن يكون المريخ مقرا للحياة، واكتشاف الميثان في جوه أعاد بعث هذه الرؤى. ويبدو الوجه المرئي للمريخ ساكنا تقريبا، إلا أن سحبا قليلة (بيضاء) ولكن الميثان ينم عن آثار نشاط بيولوجي أو جيوكيميائي تحت السطح.



من الوجهة التقنية يعتبر تيتان تابعا لزحل، ولكنه يعتبر كوكبا مكتملا بجميع المعاني والمقاييس. فغلافه النتروجيني كثيف من غلاف الأرض وسطحه تم تشكيله بواسطة النشاط التكتوني وبهار من ميثان سائل لا حد يعرف يقينا من أين يأتي الميثان. وقد التقط المسبار كاسيني الفضائي في عام 2006 هذه الصورة المركبة بالأشعة تحت الحمراء.

ppb) في الغلاف الجوي للأرض، فإن ما يتراوح بين ٩٠ و ٩٥ في المئة منه ذو أصل بيولوجي. وذوات الحوافر (آكلة الحشائش، مثل البقر والماعز وثيران الجاموس الضخمة) تتجشأ وتطلق سنويا خمس كمية ميثان الكرة الأرضية كنتيجة إضافية مرتبطة بالعمليات البيولوجية البكتيرية في أحشائها. وهناك مصادر مهمة أخرى تشمل النمل الأبيض ومزارع الأرز والمستنقعات وتسرب الغاز الطبيعي [هو نفسه نتاج حياة مضت] ونباتات **التمثيل الضوئي** [انظر: *الميثان والنباتات وتغيير المناخ*، **العلوم**، العدد ٤ (٢٠٠٧) ص ٧٠]. وتضيف البراكين أقل من ٠.٢٪ من المخزون الكلي للميثان على الأرض، وحتى هذه البراكين قد تكون ببساطة منفذا لتصريف الميثان الناتج من الأعضاء الحية في الماضي. وتعتبر المصادر غير البيولوجية مثل العمليات الصناعية أقل نسبيا. ولذلك فإن اكتشاف الميثان على جرم آخر مشابه للأرض يقوي بطبيعة الحال توقع وجود الحياة على ذلك الجرم.

في الهواء الجوي[(*)]

هذا ما حدث مع المريخ عامي ٢٠٠٣ و ٢٠٠٤، حينما أعلنت ثلاث مجموعات من العلماء، كل على حدة، اكتشاف الميثان في الغلاف الجوي لذلك الكوكب. وباستخدام مطياف ذي قوة ميز عالية في مدى الطراف تحت الأحمر بهاواي وفي مقراب جيميني بتشيلي، نجح فريق يقوده «م. موما» [في مركز گودارد الفضائي بوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)] في اكتشاف تركيزات للميثان بزيادة قدرها 250 PPb، مع تذبذب في قيمته على الكوكب وربما مع الزمن. وقد قام «ف. فورميسانو» [من معهد الفيزياء والعلوم بين الكوكبية في روما] وزملاؤه [بمن فيهم أنا] بتحليل الأطياف تحت الحمراء التي سجلتها **السفينة المدارية «مارس إكسبرس»** لكوكب المريخ. وقد وجدنا الميثان أقل كثيرا في الوفرة ويتراوح بين صفر و ٣٠ ppb، مع معدل كوكبي قدره ١٠ ppb تقريبا. وأخيرا قام «ڤ. كراسنوپولسكي» [من الجامعة الكاثوليكية بأمريكا] وزملاؤه باستخدام المقراب (التلسكوب) الكندي الفرنسي بهاواي في قياس قيمة كوكبية متوسطة حددت بحوالي ١٠ ppb. ولم يستطيعوا تعيين التغير على الكوكب بسبب ضعف الإشارة المستقبلة وصغر قوة الميز الحيزي.

ويقوم الآن فريق «موما» بتحليل بياناته محاولا تعليل لماذا جاءت قيمتها خارج الحد المعقول. ولأن فإني أعتقد أن القيمة ١٠ ppb هي الأكثر احتمالا. فهي تناظر تركيز الميثان [بالجزيئات في وحدة الحجم] التي تساوي فقط ٤٠ جزءا من المليون من تركيزه في الغلاف الجوي للأرض. ومع ذلك فحتى وجود الغاز الظاهر للعيان لا يزال يتطلب تفسيرا.

ومع أن الفلكيين قد اكتشفوا الميثان على تيتان في أوائل عام ١٩٤٤، فإن اكتشاف النيتروجين بعد مرور ٣٦ عاما على ذلك كان إضافة عملت على تكوين اهتمام هائل **بهذا القمر البعيد البارد**[(**)]. ويعتبر النيتروجين مفتاحا لتكون الجزيئات البيولوجية مثل الأحماض الأمينية والنووية. إن أي جرم له جو من الميثان والنيتروجين بحيث يكون الضغط السطحي عليه يعادل مرة ونصف ما هو مسيطر على كوكبنا، فإنه من المحتمل أن يكون له المكونات الصحيحة لتكون المواد الجزيئية المبشرة بالحياة، بل إن البعض قد تأمل حتى في نشأة الحياة نفسها.

ويؤدي الميثان دورا مركزيا تحكميا في صون الغلاف الجوي

(*) Marsh gas

(**) Titan, by Tobias Owen, Scientific American, Feb. 2005

النيتروجيني السميك لتيتان، فهو منبع الضباب (الشبورة) الهيدروكربوني الذي يمتص الأشعة الشمسية تحت الحمراء، ويدفئ طبقة الستراتوسفير بحوالي 100 درجة سيلزية. وكذلك الهدروجين، الذي تؤدي تصادمات جزيئاته إلى تدفئة نطاق التروبوسفير بمقدار 20 درجة. فإذا هرب الميثان، تنخفض درجة الحرارة، ويتكثف غاز النيتروجين إلى قطيرات سائلة وينهار ذلك الغلاف الجوي. ويتغير إلى الأبد السلوك الخاص بتيتان: فسينقشع ضبابه وسحبه، وتتوقف أمطار الميثان التي تبدو وكأنها قد شكلت سطحه، وتجف البحيرات والترع والجداول. ومع رفع هذا الحجاب يصبح سطح تيتان المتشقق عاريا، ويبقى مرئيا بوضوح للمقاريب على الأرض. ويفقد تيتان غموضه وينقلب إلى مجرد تابع آخر له غلاف جوي رقيق.

هل كان من الممكن أن يكون الميثان على المريخ وتيتان له أصل بيولوجي، كما هي الحال على الأرض، أم هناك تفسير آخر، مثل البراكين أو تصادم المذنبات والنيازك بالكوكب؟ لقد ساعد فهمنا للعمليات الجيوفيزيائية والكيميائية والبيولوجية على تضييق مجال مصادر الميثان الممكنة على المريخ، وكذلك العديد من الأدلة نفسها التي تنطبق على تيتان أيضا.

تحلل بضوء الشمس(*)

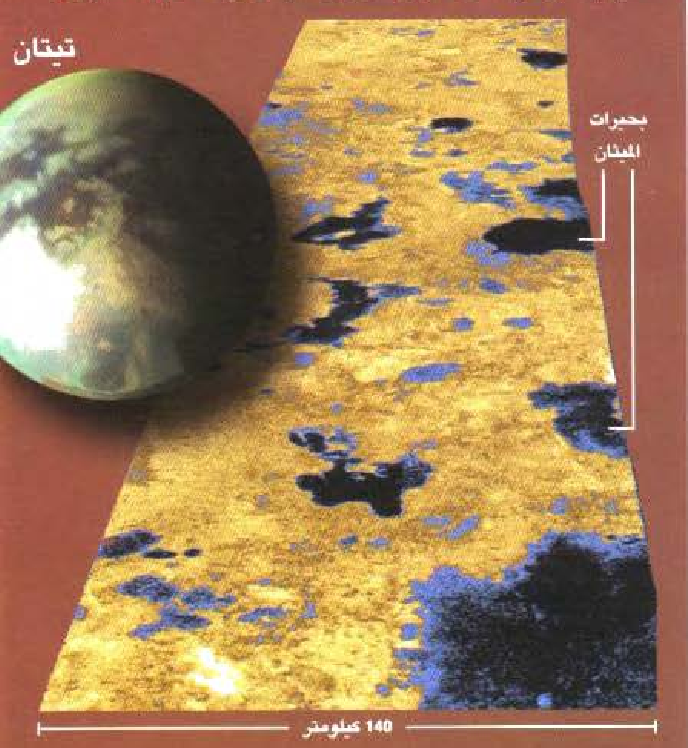
إن أول خطوة للإجابة عن هذا التساؤل هو تعيين المعدل الذي يفترض أن ينتج عنده الميثان أو يتم الحصول عليه. ويعتمد ذلك، من ثم، على مدى سرعة تخلص الغلاف الجوي منه. فعند ارتفاعات 60 كم أو أكثر فوق سطح المريخ تقوم الإشعاع فوق البنفسجي بتفكك جزيئات الميثان عن بعضها. وفي أسفل الغلاف الجوي، تكسر فوتونات الأشعة فوق البنفسجية روابط جزيئات الماء التي تعمل على تأكسد الميثان، وتتكون ذرات الأكسجين والهيدروكسيلات الأساسية (OH). ويختفي الميثان تدريجيا عن الغلاف الجوي وبلا رجعة. وعمر الميثان - الذي يعرف

نظرة إجمالية/ الميثان(**)

- تحدث الفلكيون عن الحياة على المريخ على مدى قرن أو أكثر، ولكن نادرا ما استشهدوا ببيانات ذات جدوى. وهذا الموقف قد تغير عام 2003 مع اكتشاف الميثان في الغلاف الجوي. وهناك بعض العمليات الجارية التي يجب أن تضخه إلى الخارج في توازن تحطيمه المستمر بضوء الشمس.
- لقد حصر الباحثون الاحتمالات في أمرين: الأول هو المريخيات - نوعيا فيما يشبه البكتيريات التي تنفث الميثان مثل ما يحدث في أحشاء البقر. والأمر الآخر هو تفاعل الصخر المائي (المسمى الدورة الانتقالية أو السربنتينية) الذي يقع في نفثات الأبخنة السوداء في قيعان البحار على الأرض. والاحتمال الأخير يبدو مخيبا للآمال ولكنه ربما يستحق أن يكون اكتشافا مثيرا. وقد صممت مركبة جوالة جديدة للانطلاق عام 2009 قد تكون قادرة على التثبت من هذا الأمر.
- وهناك جدل مماثل حول القمر زحل الأكبر تيتان. فقد بين المسبار الفضائي هايجنز في عام 2005 أن الميثان يؤدي على تيتان إلى حد كبير الدور نفسه الذي يؤديه الماء على الأرض. وقد ينتج الميثان من تفاعلات كيميائية في مياه خلفية (تحت سطحية) شاسعة.

لقطات فوتوغرافية من تيتان والمريخ(***)

اكتشف الفلكيون الميثان في غلاف تيتان الجوي في عام 1940، ولكن الضباب (الشبورة) الكثيف حجب رؤيتهم السطح. وقد شاهدت بعثة كاسيني-هايجنز المدى الذي وصل إليه الميثان في تشكيل التضاريس.



أحجام كبيرة من سائل، ربما يكون الميثان، تبدو في صور المسبار كاسيني الرادارية لنصف كرة تيتان الشمالي البعيد. ويبدو السائل داكنا (*باللون الأزرق*) وللسبب نفسه يبدو الطريق المبتل داكنا حينما تتحرك ليلا. ويعكس سطح السائل الناعم أشعة الضوء العمودية بعيدا عن عينيك. وبالعكس، تبدو المنطقة الجافة الخشنة لامعة. وقوة ميز هذه الصورة 500 متر.



تشكلت قنوات النهر بالميثان السائل المنساب من سلسلة من الأخاديد [بارتفاع حوالي 200 متر] منحدرا إلى قاع بحيرة (جافة الآن). وتدل تشكيلة الروافد على أن الميثان جاء من المطر الساقط. لقد التقط المسبار هايجنز هذه الصورة من ارتفاع 6.5 كيلومتر، عندما كان يهبط خلال الغلاف الجوي.

بالزمن الذي يستغرقه تركيز الميثان لينخفض بمعدل معامل الثابت الحسابي e أو تقريبا بالمعدل 3 - يتراوح بين 300 و 600 سنة، معتمدا في ذلك على كمية بخار الماء الذي يتعرض لتغيرات فصلية، وكذلك على قوة الإشعاع الشمسي الذي يتغير خلال الدورة الشمسية. فالعمليات المشابهة على الأرض تعطي الميثان عمرا يقارب عشر سنوات. وعلى تيتان، حيث تكون الأشعة فوق البنفسجية أضعف كثيرا وتكون الجزيئات الحاملة للأكسجين أقل وفرة بصورة جوهرية، يبقى الميثان من 10 ملايين إلى 100 مليون

(*) Split by Sunlight
(**) Overview/ Methane
(***) SNAPSHOTS FROM TITAN AND MARS

يوجد الميثان على الكوكب الأحمر فقط بأجزاء من البليون في الحجم [ppbv]، لذلك لا يُرى مباشرة مثلما يُرى على تيتان. وهناك عمليات تم رصدها يمكنها تدمير الميثان وتكوينه.



ضباب في غلاف تيتان العلوي يتكون من الهيدروكربونات التي تتشكل عندما يتفاعل ضوء الشمس مع الميثان، ويشبه هذا الضباب الضبخان في المدن. وقوة تمييز هذه الصورة 700 متر.

سطح تيتان الذي لم يتم لمحه قبل هبوط المسبار هايجنز عليه في الشهر 2005/2. وربما يشبه حقلا مدكوكا بالصخور، لكن هذه الصخور هي في الواقع قطع غليظة من الجليد في حجم قبضة اليد. وبفحصها عن كثب تبدو علامات التآكل عليها من انسياب الماء وربما الميثان. وبينما يسخن المسبار التربة يرشح منها الميثان.

زوابع ترابية مثل تلك التي كشفتها سفينة مارس جلوبال سيرفيور في 21 مايو 2002. تحتك حبيبات التراب معا، وهكذا تنشأ مجالات كهربائية ستاتيكية قوية يمكنها أن تمزق جزيئات الماء فتنفصل بينها، وتؤدي إلى إنتاج البيروكسيدات المدمرة للميثان.

انسياب مياه جوفية في ماضي المريخ قد يفسر هذه الحافة البيضاء المرتفعة (السهم) التي اكتشفتها حديثا سفينة مارس ريكونيسانس المدارية. فانسياب الماء خلال شقوق الصخر قد رسب المعادن، تماما مثلما يسبب الماء العسر تراكمات في أنابيب المنازل. وحينما تتآكل الصخور المحيطة تبقى المعادن على هذه الحافة. وربما تكون المياه الجوفية قد سهلت إنتاج الميثان.

بيانات الميثان	الأرض	المريخ	تيتان
تركيز جوي	1.750 ppbv	10 ppbv	5 precut
العمر الجزيئي في الجو بالسنوات	10	600	10 ملايين
معدل الإنتاج المطلوب لتحقيق كمية ثابتة (بالأطنان في السنة)	515 مليون	125	25 مليون
المصدر الأساسي	الماشية، النمل الأبيض، المستنقعات، أحواض الأرز، الغاز الطبيعي	البكتيرات ؟ تفاعلات الماء والصخور في الطبقات الصخرية المائية ؟	تفاعلات الصخور في المحيطات الجوفية

سنة (وهو ما يعتبر وقتا قصيرا بالمفهوم الجيولوجي).

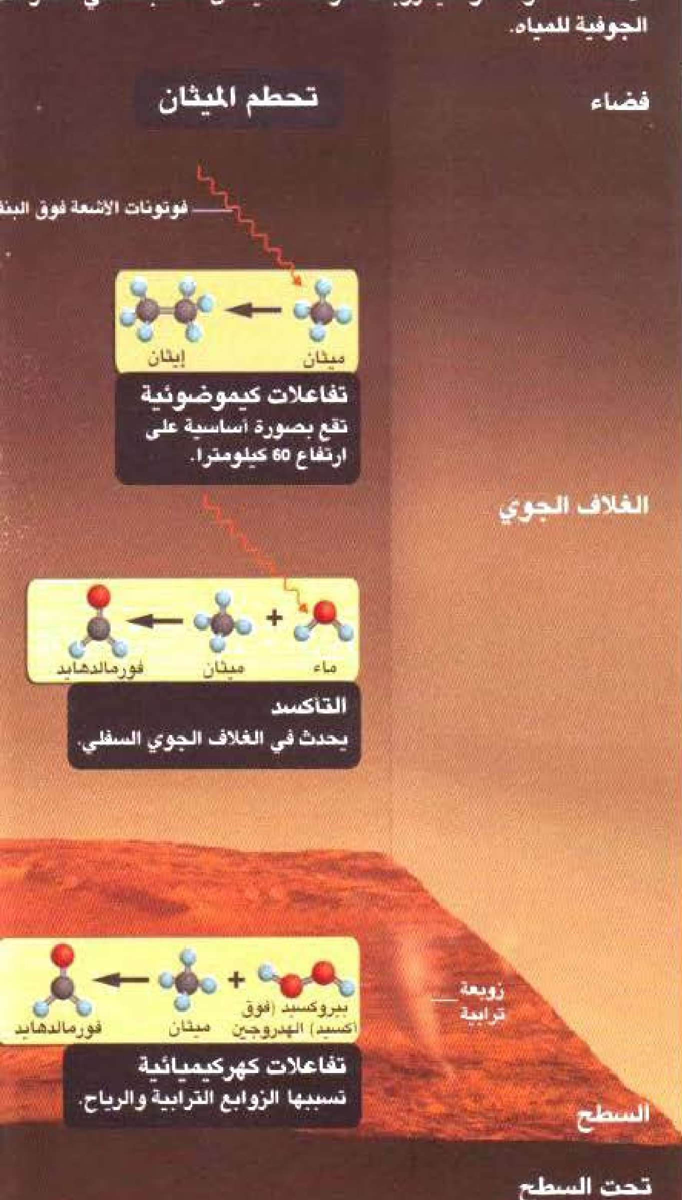
إن عمر الميثان على المريخ طويل بما يكفي لكي تقوم الرياح وعمليات التشتت بخلط الغاز في الغلاف الجوي بانتظام تقريبا. وهكذا، تعتبر التغيرات المشاهدة لمستويات الميثان على الكوكب محيرة. فقد تكون علامة على أن الغاز يأتي من مصادر محلية أو يختفي في مستودعات محلية. والمستودع المحتمل هو التربة المنشطة كيميائيا، التي يمكنها أن تعجّل في فقد الميثان. فإذا ما عملت تلك المستودعات الإضافية فإن الأمر يحتاج إلى مصدر أكبر للميثان للحفاظ على وفرة العنصر المشاهدة.

والخطوة التالية هي تدارس السيناريوهات المحتملة لتكوين الميثان. ويعتبر الكوكب الأحمر مكانا جيدا للبدء بذلك، لأن وفرة الميثان به منخفضة للغاية. فإذا لم تستطع الآلية المقترحة تفسير حتى هذه الكمية الصغيرة، فمن غير المحتمل أنها تكفي لتعليل كمية الميثان الكثيرة جدا على الكوكب تيتان. ولعمر قدره ٦٠٠ سنة، يجب أن ينتج ما يزيد على ١٠٠ طن متري من الميثان كل سنة للحفاظ على متوسط مستوى ثابت معدله ١٠ ppbv، وهذا يعادل ربع في المليون من المعدل المنتج على الأرض.

وكما هي الحال على الأرض، فإن المراكز ليست هي المسؤولة

الميثان على المريخ(**)

بكل الأدلة، يجب ألا يكون للميثان وجود على المريخ. إذ ينمحي الغاز من الهواء بالتفاعلات الكيميائية الموجّهة بضوء الشمس أو بعوامل الطقس والعمليات الجيولوجية والفلكية المعروفة لا يمكن أن تستعيضه بسرعة كافية. وهكذا يبدأ ظهور الميثان نتيجة لنشاط غير ملحوظ مثل نفاثات الأدخنة السوداء أو الميكروبات المولدة للميثان السابحة في الخزانات الجوفية للمياه.



بالدرجة الأولى عن وجود الميثان. ما براكين المريخ فقد خمدت لمئات الملايين من السنين. إضافة إلى أنه إذا كان البركان مسؤولا عن الميثان، فإنه يضخ كذلك كميات ضخمة من ثنائي أكسيد الكبريت، في حين أن جو المريخ سيفتقد لمركبات الكبريت. والمدد القادم من خارج الكواكب يبدو كذلك ضئيلا. ويوجد في الحسبان حوالي ألفي طن من تراب النيازك الدقيقة التي تصل إلى سطح المريخ كل عام وأقل من 1% من كتلتها من كربون، وحتى هذه المادة تتأكسد بشدة. ومن ثم فهي مصدر غير مجد للميثان. وتمثل المذنبات حوالي ..% بالوزن من الميثان، ولكنها ترتطم بالمريخ بمعدل مرة واحدة فقط كل 60 مليون سنة في المتوسط، وبذلك تكون كمية الميثان المنقولة في هذه الحالة حوالي طن سنويا أو أقل من 1% من الكمية المطلوبة.

هل كان من الممكن أن مذنبا قد صدم المريخ في الماضي القريب، فربما قد أمده بكمية كبيرة من الميثان، وانخفضت مع الزمن الوفرة في الغلاف الجوي إلى نسبتها الحالية. إن تصادما بواسطة مذنب قطره 200 متر قبل 100 سنة أو مذنب قطره 500 متر قبل 2000 سنة، من الجائز أنه قد أمد الكوكب بكمية كافية من الميثان ليؤدي بذلك إلى المعدل العام والثابت الذي تكرر رصده وتحديده بما يساوي 10 ppbv. ولكن هذه الفكرة تجرنا إلى مشكلة: لأن توزيع الميثان على الكوكب غير منتظم، والوقت الذي يستغرقه توزيع الميثان بانتظام رأسيا وأفقيا هو عدة أشهر على الأكثر. لذلك يكون المصدر الذي يؤدي إلى انتظام توزيع الميثان على المريخ مناقضا للأرصاد.

دخان في المائيات(*)

نحن بصدد مصدرين محتملين لإنتاج الميثان: مصدر مائع كيميائي أرضي والآخر ميكروبي، وكلاهما قد يكون أسرا للفكر. فمنافذ الموائع الحرارية المعروفة بنفاثات الأدخنة السوداء التي اكتشفت أول مرة على الأرض سنة 1977 في حافة **صدع كالاباكوس** Galapagos Rift؛ ومنذ ذلك الحين، وجد دارسو محيطات هذه النفاثات الدخانية على طول العديد من الأخاديد وسط المحيطات. وتبين التجارب المختبرية أنه تحت هذه الظروف المنتشرة عند هذه المنافذ، فإن صخور السيليكا الغنية بالحديد أو المغنيسيوم، مثل **الزبرجد الزيتوني** olivine و**البيروكسين** pyroxene يمكنها أن تتفاعل لتنتج الهدروجين بطريقة تعرف بوجه عام بالدورة الالتفافية أو **السربنتينية** serpentinization. ومن ثم يمكن أن ينتج الميثان من تفاعل الهدروجين مع حبيبات الكربون، أو ثنائي أكسيد الكربون، أو أول أكسيد الكربون، أو الأملاح المعدنية الكربونية.

مفاتيح هذه العملية هي الهدروجين والكربون والمعادن (التي تقوم بدور العوامل المساعدة) إلى جانب عوامل الحرارة والضغط. كل ذلك ممكن على المريخ أيضا. ويمكن أن تقع عملية الدورة الالتفافية إما في درجات حرارة مرتفعة (350 إلى 400 سيلزية) أو عند درجات معتدلة (30 إلى 90 سيلزية). ومن المقدر أن هذه الدرجات المنخفضة يمكن أن تحدث داخل طبقات الصخور المائية المفترض وجودها على المريخ.

(**) METHANE ON MARS

(*) Smoke in the Waters

(1) انظر: The ... Galapagos Rift ..., Scientific American, May 1981



مصادر الميثان المعروفة
الرياح
يجب أن تقوم بخلط الميثان بانتظام في الغلاف الجوي. وهكذا تبقى التغيرات المشاهدة محيرة.
صدمات المذنبات
تضيف كمية ضئيلة من الميثان.
البراكين
يمكن أن تنفث الميثان إذا تفجرت، ولكنها تبدو في العادة خامدة أو مضمحلة.
مركبة جوالة
مصادر ممكنة للميثان
صخر زبرجد زيتوني
ماء
هدروجين
هدروجين
أول أكسيد الكربون
ميثان
منافذ ماء حراري
قد تنتج الميثان في عملية من مرحلتين محتويتين على الماء والصخر.
ماء
أول أكسيد الكربون
ميثان
ميكروبات
قد تنتج الميثان باختلاط الماء مع الكربون الحامل للجزيئات.
كلاثْرات الميثان
تختزن الميثان الذي تطلقه الميكروبات ونفاثات الأدخنة، وينفلت منها تدريجيا إلى السطح عبر الشقوق.

ومع أن عملية الدورة الالتفافية منخفضة الحرارة قد تكون مسؤولة عن إنتاج الميثان المريخي، فإن الاحتمال البيولوجي تبقى له إمكانيات فعالة. فعلى الأرض، تعمل العضويات البيولوجية الميكروية المعروفة **بالميثانوجينات** methanogens على توليد الميثان كناتج جانبي للهدروجين المستهلك وثنائي أكسيد الكربون أو أول أكسيد الكربون. فلو أن مثل هذه العضويات قد عاشت على المريخ، فإنها كانت سوف تجد مددا جاهزا من المواد المعدية لهذه العملية كالهدروجين (المنتج إما من عملية الدورة الالتفافية أو المنتشر في التربة من الغلاف الجوي) إضافة إلى أول وثنائي أكسيد الكربون (في الصخور أو من الغلاف الجوي).

وبمجرد تكوّن الميثان، إما بواسطة عملية الدورة الالتفافية أو الميكروبات، فإنه يمكن أن يخزن على صورة **كلاثرات متميهة** clathratehydrate، أي كتركيبة كيميائية تحتجز جزيئات الميثان كحيوانات في قفص ـ لتنطلق فيما بعد إلى الغلاف الجوي، ربما عن طريق التسرب الغازي التدريجي خلال التشقق والصدوع أو بواسطة الانفجارات العرضية التي تحفزها البراكين. ولا يوجد من يؤكد كيفية تكوّن الكلاثرات بفاعلية أو كيفية وصولها إلى حالة عدم الاستقرار.

لقد أشارت أرصاد سفينة مارس إكسبرس إلى تركيزات أكبر للميثان في مساحات تحتوي على جليد مائي تحت سطحي. وقد يفسر هذا الترابط عن طريق سيناريوهات جيولوجية أو بيولوجية. فقد توفر الصخور المائية تحت الثلج مسكنا لمخلوقات أو موقعا للإنتاج الجيوكيميائي المتدرج للميثان. ومن دون الحاجة إلى بيانات إضافية، تبدو الإمكانات البيولوجية والجيولوجية متساوية في احتمالاتها.

محيط في تيتان

من أول وهلة، قد يعتقد المرء أن ميثان تيتان ربما يكون أسهل على الفهم. فهذا القمر قد تكوّن في سديم فرعي لزحل، الذي يحتوي غلافه الجوي على كميات هائلة من الغاز. وحتى الآن تظهر البيانات أن إنتاج الميثان محليا على تيتان أكثر احتمالا من جلب الميثان إليه. فالمسبار هايجنز Huygens للبعثة المشتركة كاسيني - هايجنز بين وكالتي ناسا والفضاء الأوروبية، لم يجد غاز زينون أو غاز كريبتون في غلاف تيتان الجوي. فلو أن اللبنات الكوكبية الأولية التي كونت تيتان قد جلبت معها الميثان، لكان من المفروض أن تجلب أيضا هذه الغازات النبيلة الثقيلة. إن غياب تلك الغازات يدل على أن الميثان في أغلب الاحتمالات قد يكون على تيتان نفسه.

لذلك يعتبر وجود الميثان له طبيعة غامضة على تيتان كما هي الحال على المريخ ـ من بعض النواحي أكثر من ذلك بسبب كميته النسبية (5% في الحجم). وهناك مصدر معقول، كما هي الحال على المريخ، وهو حدوث ظاهرة الدورة الالتفافية عند درجة حرارة منخفضة نسبيا. لقد افترض [illegible] سوتين وزملاؤه [من جامعة نانت بفرنسا] أن تيتان ربما أمكنه الاحتفاظ بمحيط جوفي سائل (انظر المؤطر في هاتين الصفحتين)، والأمونيا الذائبة، التي تعمل كمضاد للتجمد، قد ساعدت على حفظه من التحول إلى الحالة الجامدة الصلبة. وفي سيناريوهم يبلغ المحيط 100 كم تحت سطح

(*) A Titanic Ocean

(**) METHANE ON TITAN

الميثان على تيتان(**)

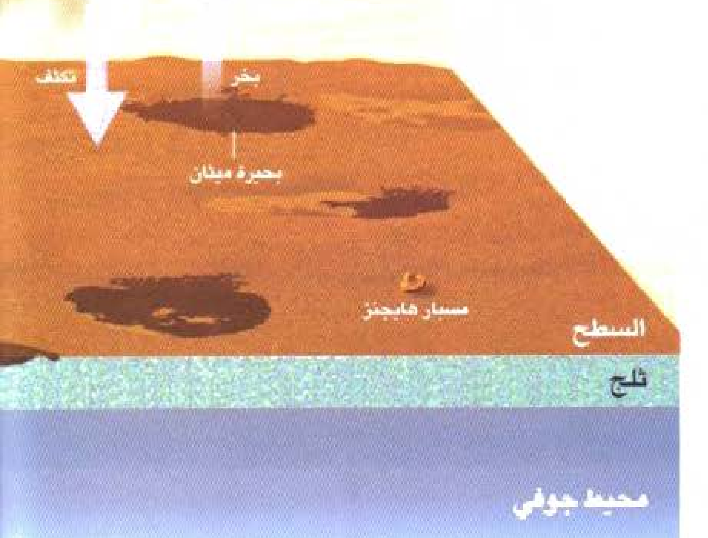
الميثان لتيتان مثل الماء للأرض: مادة تحفر الجداول في السطح، والبر... بالأحجام المتاحة، ويتبخر في الهواء، ليعود أمطارا إلى أسفل. وكما عل... المريخ، تستنفد التفاعلات الكيميائية ميثان تيتان، لذا يجب أن يعوض... النشاطان الجيولوجي والبيولوجي.

الغلاف الجوي العلوي

دورة الميثان

الغلاف الجوي

سحب ميثان



ثلج

نواة صخرية



مصادر الميثان الممكنة

أسيتيلين
ميثان

ميكروبات
قد تنتج الميثان ولكن بكميات ضئيلة فقط.

البراكين الباردة
تقذف الماء والأمونيا وحبيبات الثلج، وقد تنفث الميثان.

نهر ميثان

كلاثرات الميثان
يمكن أن تختزن الميثان في طبقات الثلج الذي تكوّن في ماضي تيتان، ثم ينطلق تدريجيا إلى السطح عبر الشقوق.

ينابيع مائية حرارية
ربما تكونت في الماضي البعيد حينما امتد المحيط إلى اللب الصخري.

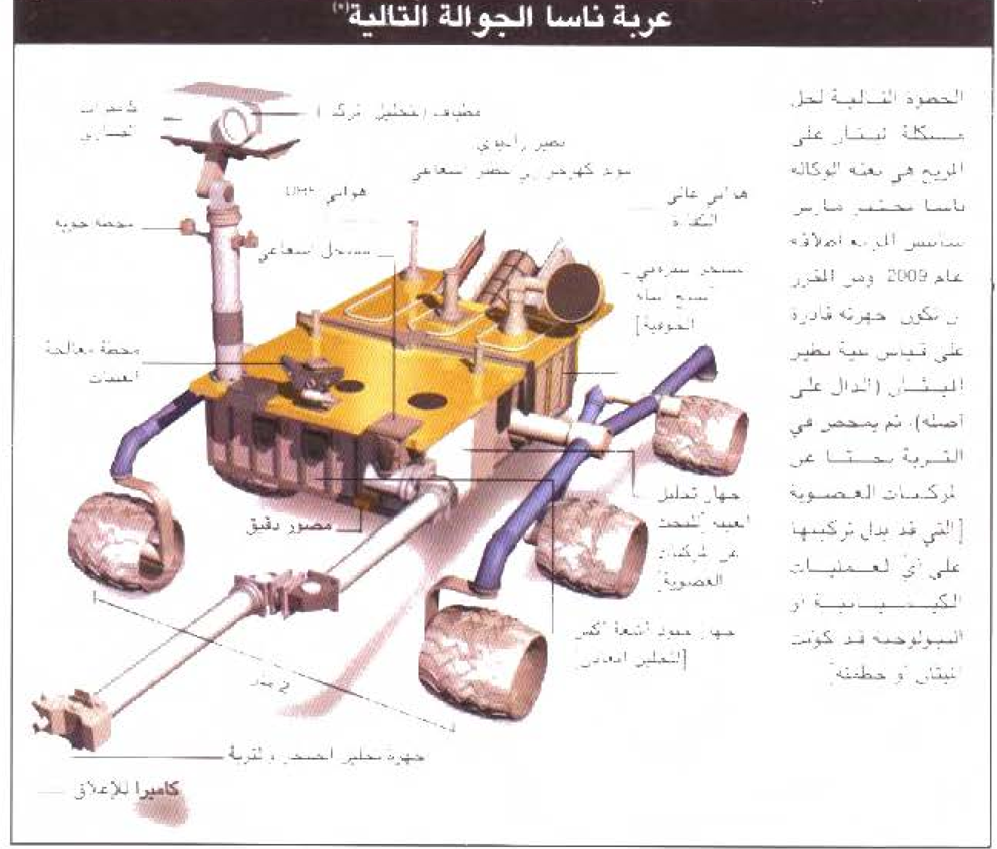
تيتان ويمتد في العمق إلى ما يراوح بين من 300 و 400 كم في الماضي. عمل تحلل العناصر المشعة والحرارة المتخلفة عن تكون تيتان على اذابة كامل الجسم الثلجي تقريبا ـ لذلك امتد هذا المحيط قاطعا جميع الطرق الى اسفل حتى النواة الصخرية.

وفي هذه الظروف تطلق التفاعلات بين الماء والصخر غاز الهدروجين الذي يتفاعل من ثم مع ثنائي وأول أكسيد الكربون وحبيبات الكربون او المادة الكربونية الأخرى ـ منتجا الميثان. وفي تقديري أن هذه العملية قد تكون قادرة على تفسير وفرة الميثان المرصود على تيتان. وبمجرد انتاج الميثان يُخزَّن على صورة كلاثرات مائية مستقرة، ثم ينطلق الى الجو، إما تدريجيا خلال التبركن، او أثناء الانفجارات، التي تحدثها التصادمات النيزكية.

وهناك دليل دامغ هو غاز الارجون 40 الذي سجلته سفينة هايجنز Huygens عندما كانت تهبط خلال الغلاف الجوي لتيتان. ويتكون هذا النظير بواسطة التحلل الاشعاعي للبوتاسيوم 40، الذي ينفصل في الصخور عميقا في لب تيتان. ولأن عمر النصف الإشعاعي للبوتاسيوم 40 هو 1.3 بليون سنة، فإن الكمية الصغيرة للارجون 40 في الغلاف الجوي تعتبر دليلا على الانطلاق البطيء للغازات من الداخل. إضافة الى أن الصور البصرية والرادارية للسطح تبين علامات التبركن البارد ـ نافورات الامونيا الساخنة ـ الثلج المائي ـ الذي يدل ايضا على أن المادة تنبجس عن الباطن. ويبدو أن سطح تيتان حديث نسبيا وخالٍ من الحفر النيزكية، الامر الذي يشكل علامة على إعادة تشكل السطح بالمادة المنسابة من الباطن. والمعدل المقدر لإعادة تشكل السطح يتطلب انفلات الميثان من الداخل بسرعة كافية لتعويض الفقد **الضوئي الكيميائي** photochemical. ويؤدي الميثان على تيتان الدور نفسه الذي يؤديه الماء على الارض، حيث توجد مستودعات للسائل السطحي والسحب والامطار ـ أي دورة ميثالوجية كاملة الاركان. وهكذا يتحقق الحيز البرهاني الاساسي حتى بدرجة تفوق ما هو متاح للمريخ. فإن الميثان المخزون في الباطن سوف لا يواجه صعوبة في خروجه الى السطح ومن ثم في تحرره في الغلاف الجوي.

هل يمكن للعمليات البيولوجية ايضا أن تؤدي دورا في تكوين ميثان تيتان؟ لقد اقترح كل من <<C.>> ماكاي [من مركز أبحاث أميز Ames في الوكالة ناسا] و<<H.>> سميث [من جامعة الفضاء العالمية في ستراسبورگ بفرنسا] وايضا <<D.>> شولزي ماكوش [من جامعة واشنطن الحكومية] و<<D.>> جرنسبون [من متحف دينفر للطبيعة والعلوم] أن الاسيتيلين والهدروجين يمكن أن يعملا كعناصر مغذية لتكون الميثانوجينات حتى عند أقصى برودة لسطح تيتان (-179 درجة سيلزية). تختلف عملية النشوء البيولوجي هذه عن تلك التي تستخدمها الميثانوجينات على الارض، وأي من أقربائها، فعلى المريخ، لا يحتاج الى الماء في ذلك. وتقوم الهيدروكربونات السائلة كبديل في توفير الوسط المساعد على سطح تيتان.

عربة ناسا الجوالة التالية(*)



الخطوة التالية لحل مشكلة الميثان على المريخ هي بعثة الوكالة ناسا مختبر مارس ساينس المزمع إطلاقه عام 2009 ومن المقرر أن تكون جهيزته قادرة على قياس نسبة نظير الميثان (الدال على أصله)، ثم يفحص في التربة بحثا عن المركبات العضوية [التي قد يدل تركيبها على أي العمليات الكيميائية أو البيولوجية قد كونت الميثان أو حطمته].

ولاتزال هذه الفرضية تعاني بعض القصور. فالبيانات المعطاة بواسطة السفينة هيجنز تستبعد المصدر الجوفي للاسيتيلين. هذا المركب الذي يجب أن يأتي أساسا من الميثان في الغلاف الجوي. وهكذا يبدو كدليل ثابت على انتاج الميثان (بواسطة الميكروبات)، فالمرء يحتاج الى الميثان. إضافة الى ذلك فإن الوفرة الهائلة جدا للميثان على تيتان تتطلب أن تعمل الميثانوجينات بمعدل زائد يؤدي الى إنتاجه بالدرجة التي تساعد على استنفاد العناصر المتاحة المغذية لتكوينه.

وبالنظر الى هذه العوائق نجد أن التفسير البيولوجي للميثان أقل جاذبية على تيتان منه على المريخ. ولهذا تتطلب فرصة الاستيطان على القمر مزيدا من البحث. ويقترح بعض العلماء أن هذا القمر كان أو يجب أن يكون مأهولا، فهو يستقبل ما يكفي من ضوء الشمس ليحول النيتروجين والميثان الى جزيئات تنتشر بتنس

(*) NASA'S NEXT ROVER

سوف تدرس عربة مختبر مارس سينس الجوالة العينات الغازية والصلبة للشواهد الكيميائية في ماضي الحياة وحاضرها

الأحياء. فالمنقوع الحوضي من الماء والأمونيا مع بعض الميثان وبعض الهيدروكربونات الأخرى، المتبعثرة هنا وهناك، يمكن أن تكون بيئة صديقة لتكون جزيئات معقدة أو حتى أعضاء حية. وفي الماضي البعيد، حينما كان تيتان يبرد فإنه من الممكن حينذاك أن يكون الماء السائل قد غمر سطح هذا القمر.

غذاء عضوي(*)

ومن القياسات الحاسمة التي أمكنها الإسهام في تعيين مصادر الميثان على المريخ وتيتان هي نسبة نظير الكربون. فالحياة على الأرض قد تطورت بتفضيل الكربون 12، الذي يتطلب طاقة أقل للترابط مما يتطلبه الكربون 13. فحينما تتحد الأحماض الأمينية، فإن البروتينات الناتجة تبدي عدم كفاءة ملحوظة في حالة النظائر الأكثر ثقلا. وتحتوي الأعضاء الحية على الأرض من 92 إلى 97 مرة من الكربون 12 أكثر من الكربون 13. أما بالنسبة إلى المادة غير العضوية، فإن النسبة العيارية هي 89.4.

إلا أن المسبار هايجنز قد قاس على تيتان نسبة 82.3 في الميثان، وهي تعتبر أصغر، وليس أكبر، من القيمة العيارية غير العضوية الأرضية. وهذه النتيجة تقف بشدة ضد وجود الحياة كما نعرفها. وللتأكيد، يقترح بعض العلماء أن الحياة يمكن أن تنهج على تيتان بشكل مختلف عنها على الأرض، أو أن نسبة النظير غير العضوي قد تكون مختلفة هناك.

وحتى الآن لم يَقِسْ أحد نسبة نظير الكربون للمريخ. وهذه القياسات تمثل تحديا حينما يكون تركيز الغاز منخفضا جدا (جزء من البليون مما هو على تيتان). إن **المختبر العلمي الجوال للمريخ** (MSL)(1) التابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) والمخطط لوصوله إلى المريخ عام 2010، سوف يكون قادرا على إجراء قياسات دقيقة لنظائر الكربون في الميثان وربما في مواد عضوية أخرى. وسوف يدرس أيضا عينات غازية وصلبة لمكونات كيميائية أخرى في ماضي الحياة وحاضرها، مثل نسبة الوفرة العالية جدا للميثان مقارنة بالهيدروكربونات الأثقل (الإيثان والبروبان والبيوتان) **والعوامل السائدة**(2) (أفضلية الجزيئات العضوية طبقا لقاعدة اليد اليسرى واليمنى).

وهناك تساؤل شديد الارتباط بهذه المسائل، وهو لماذا تبدو العضويات غائبة عن سطح المريخ. فحتى مع غياب الحياة والنيازك والمذنبات وجسيمات التراب بين الكوكبي فقد كان يجب أن يستقبل الكوكب المواد العضوية على مدى ما مضى من عمره الذي يقدر بأربعة بلايين ونصف البليون سنة. وربما تكمن الإجابة في الزوابع الترابية للمريخ وعواصفه العاتية والحركة التراقصية المعهودة للتربة (حيث تتراقص حبيبات التراب المتطايرة بواسطة الرياح فيما يشبه رقصة الحجلة). وهذه العمليات تولد مجالات كهربائية ساكنة يمكنها أن تحفز التركيب الكيميائي **لبيروكسيد (فوق أكسيد الهدروجين)** hydrogen peroxide وكونه [illegible] بيروكسيد الهدروجين سوف يعمل على تفكيك [illegible] سريعة من العضويات. ويعجل المؤكسد أيضا من فقد الميثان محليا من الغلاف الجوي، ويتطلب ذلك مصدرا أكبر لتفسير الوفرة المشاهدة في الغلاف الجوي للمريخ.

وإيجازا لما سبق، يعود الميثان كلاعب يعمل على تنشيط كيمياء بطرق غامضة بعض الشيء. إن وجود الميثان على المريخ خادع بالقدر نفسه وليس أقل من ذلك، لأنه يوحي بوجود صور للحياة على ذلك الكوكب. والكشف المستقبلي لكلا الجرمين سوف يلتمس تحديد ما إذا كانا مأهولين من عدمه. ومع أن الحياة كما نعرفها يمكن أن تنتج الميثان، فإن وجود الميثان لا يشير بالضرورة إلى وجود حياة. لذا يجب على علماء الكواكب إجراء دراسة جادة لمصادر هذا الغاز والمكامن التي يوجد بها والتركيب النظائري له، وذلك بالتوازي مع الجزيئات العضوية الأخرى، ويتلمسوا هذه المكونات في العينات الغازية والصلبة على السواء. وحتى لو وجد أن الميثان ليس له ارتباط بالحياة فإن دراسته سوف تبين بعض الأوجه التي لها أهمية قصوى بالنسبة إلى نشأة المريخ وتيتان والتواريخ الماضية لهما وخصائصهما الجيولوجية وتطورهما بصفة عامة. ■

(*) Organic Food

(1) NASA's Mars Science Laboratory (MSL) rover

(2) chirality

المؤلف

Sushil K. Atreya

بدأ وظيفته الفضائية في الفرق العلمية لبعثات فويجر إلى الكواكب العملاقة مستمرا مع سفن جاليليو وكاسيني-هايجنز وفينوس إكسبرس ومارس إكسبرس ومختبر مارس سينس (المعد للإطلاق عام 2009) وجونو جوبيتر بولار المدارية 2011. تركز أبحاثه على أصل وتطور الأغلفة الجوية ونشأة الأنظمة الكوكبية. وهو أستاذ في جامعة ميتشيگان في آن آربور، وهو زميل في جمعية تقدم العلوم الأمريكية، وعالم زائر متميز في مختبر الدفع النفاث. ويدين أتريا بالفضل لكل من [illegible] ماهافي و[illegible] للمناقشات والتعليقات على مسودات هذه المقالة.

مراجع للاستزادة

Detection of Methane in the Atmosphere of Mars. Vittorio Formisano, Sushil Atreya, Thérèse Encrenaz, Nikolai Ignatiev and Marco Giuranna in *Science*, Vol. 306, pages 1758–1761; October 28, 2004

A Sensitive Search for SO_2 in the Martian Atmosphere: Implications for Seepage and Origin of Methane. Vladimir A. Krasnopolsky in *Icarus*, Vol. 178, No. 2, pages 487–492; November 2005.

Episodic Outgassing as the Origin of Atmospheric Methane on Titan. Gabriel Tobie, Jonathan I. Lunine and Christophe Sotin in *Nature*, Vol. 440, pages 61–64; March 2, 2006

Titan's Methane Cycle. Sushil K. Atreya, Elena Y. Adams, Hasso B. Niemann, Jaime E. Demick-Montelara, Tobias C. Owen, Marcello Fulchignoni, Francesca Ferri and Eric H. Wilson in *Planetary and Space Science*, Vol. 54, No. 12, pages 1177–1187, October 2006

Methane and Related Trace Species on Mars: Origin, Loss, Implications for Life, and Habitability. Sushil K. Atreya, Paul R. Mahaffy and Ah-San Wong in *Planetary and Space Science*. Vol. 55, No. 3, pages 358–369, February 2007

Sushil K. Atreya's Web page **www.umich.edu/~atreya**

Scientific American, May 2007

النفث العكسي للثقوب السوداء(١)

يمكن لثقب أسود منفرد، أصغر من المنظومة الشمسية في الحجم، أن يتحكّم في مصير عنقود كامل من المجرّات.

«W. تاكر» ـ «H. تاناناوم» ـ «A. فابيان»

لو رسمت خريطة كبيرة للكون لبدت مثل خريطة شبكة الطرق العامة التي تصل بين الولايات المختلفة في الولايات المتحدة الامريكية. فالمجرّاتُ تتراصف على شكل خيوط تتقاطع فيما بينها ضمن الفضاء بين المجرّي(٢) كما تتقاطع الطرق. وتوجد بين هذه الطرق مناطقُ قليلة الكثافة نسبيا تمثل الريف الكوني. أمّا عند التقاطعات الكبيرة ـ حيث تتقارب خيوط متعددة ـ فهناك **عناقيد مجرية**(*) أو ما يماثل المدن الكونية الكبرى.

إن حجم هذه العناقيد مرعبٌ. فبينما يستغرق الضوء ثانية واحدة ونيّف ليصل الارض انطلاقا من القمر، ونحو ثماني دقائق إذا انطلق من الشمس، فإن الضوء الصادر عن مركز مجرّة درب التبانة يستغرق 25 000 سنة لكي يصلنا. ولكن حتى هذا الزمن يُعد ضئيلا مقارنةً بالزمن اللازم للضوء لقطع المسافة بين طرفي عنقود مجري، والمقدّر بنحو 10 ملايين سنة في الحقيقة. تُعد العناقيد المجرية أكبر الأجسام المتماسكة **تثاقليا** gravitationally في الكون. ومن الممكن للخيوط الشبيهة بالطرق أن تفوق العناقيد المجرية حجما، مع أنه لا يمكن اعتبارها، أي الخيوط، أجساما مترابطة **تثاقليا** gravitily.

إن التماسك التثاقلي يعني أن المجرّات والمادة الأخرى ضمن العنقود المجرّي المكتمل قد استقرت في حالة توازن ديناميكي. وتتحرك المجرّات ضمن هذا العنقود دون أن تنفك منه؛ والذي يحول دون انفلاتها هو وجود **المادة المعتمة**(٣). هذا النوع الغريب من المادة الذي لا دليل على وجوده الآ من خلال آثاره التثاقلية. وينجم عن تفاعل مختلف هذه المكوّنات داخل العنقود ظواهرُ عديدة وثرية، مازال الفلكيون في بداية استيعابها.

وكحال المدن الكبرى على الأرض، ليست العناقيد مجرّد مجموع لقاطنيها؛ لأن السيرورات التي تحدث على مستوى العنقود تقرّر مصير الأحداث التي تقع على مستويات أصغر، كنمو مجرّات معيّنة وتزويد **الثقوب السوداء الفائقة الكتلة**(٤) والموجودة في مراكز هذه المجرّات بالوقود. وبدورها، تنفث الثقوبُ السودا، كميات هائلة من المادة بسرعات عالية جدا يمكنها أن تقود تطوّر العنقود المجري بمجمله. وللوهلة الأولى، تبدو هذه العلائق بين الأشياء الصغيرة والأشياء الكبيرة مثيرة للحيرة. فقُطْر كل ثقب من الثقوب السوداء المعنيّة أصغرُ من قطر المنظومة الشمسية، ومن ثم تكون قدرتُها على التأثير في مصير العنقود المجري برمّته أشبه بحال حبة توت صغيرة تؤثر في مصير كوكب الأرض بمجمله.

قضية الغاز المختفي(**)

تسمح هذه التفاعلات بتفسير كثير من الألغاز المزمنة في الحياة الحضرية للكون. ويعرف أحد هذه الالغاز **بمسألة الجريان المتبرد**(٥)، ذات العلاقة بوجود غاز حرارته نحو عدة ملايين درجة ويملا الفضاء الواقع بين المجرات ضمن العناقيد المجرّية. إذا كانت المجرّاتُ ضمن العنقود المجرّي مماثلة للمراكز المدنيّة في المدينة الكونية، فإن هذا الغاز يماثل الضواحي المحيطة بالمدن، وكحال الضواحي المحيطة بأكثر المدن الامريكية، يُعد هذا الغازُ أكثر المناطق اكتظاظا وكثافة؛ فهو يفوق في كتلته جميع نجوم المجرات ضمن العنقود.

ويُصدر هذا الغاز، الذي يتمّ تسخينه بصورة رئيسية من خلال **الانكماش التثاقلي**(٦) البطيء للعنقود، أشعة سينية. ونظرا لعدم قدرة المقاريب (التلسكوبات) الضوئية على رؤية هذا الغاز، ولأن الاشعة السينية لا تستطيع اختراق الغلاف الجوي للأرض، فإن اكتشاف ودراسة هذا الغاز قد اعتمدا على المراصد التي تدور حول الأرض. فقبل نحو العقدين، لاحظ الفلكيون العاملون في مرصد إينشتاين السيني والتابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا NASA)، وفلكيّو آلات أخرى حاسمة، أن الاشعة السينية التي يصدرها هذا الغاز تحمل طاقة كبيرة جدا، بحيث لا بدّ للغاز الفاقد للطاقة أن يبرد شيئا فشيئا ليعود ويستقر في قلب العنقود. ومنه تسمية مسألة «الجريان المتبرّد». كان «فابيان» [أحد مؤلفي هذه المقالة] من الروّاد في دراسة هذه الجريانات باستخدام مرصد إينشتاين الحائم، ثم مركبة روسات ROSAT الالمانية ذات الأشعة السينية أيضا. ووجد مع معاونيه أنه سيكون لهذه الجريانات تأثيرات مثيرة، فلو استمرّت لبليون سنة لتشكّل الغازُ المتوضّعُ في المناطق المركزية من العنقود

(١) BLACK HOLE BLOWBACK
(٢) intergalactic
(٣) dark matter أو الخفية أو المظلمة
(٤) supermassive black holes
(٥) cooling flow problem
(٦) gravitational collapse
(*) cluster of galaxies
(**) The Case of the Disappearing Gas



ليس من الحكمة النظر إلى ما ينفثه ثقب أسود فائق الكتلة. ذلك ان هذا النفث يولد فقاعات من الغاز الحار الذي تكافئ طاقته طاقة ملايين او بلايين النجوم المستعرة.

تريليونات من النجوم الحديثة التكون.

ولكن المشكلة الوحيدة هي انه لم يكن بامكان احد ان يجد هذه النجوم. وقد بحث الفلكيون عبثًا عن مقادير كبيرة من غاز متبرّد، او عن قبائل من نجوم حديثة التكون. ولكن دون جدوى. لو ان ثقبا اسود ابتلعها جميعها لصار ثقله يزن مقدار تريليون من النجوم. ولكن حتى اكبر الثقوب السود لا تزن هذا الثقل. وقد ظل باحث حر منا (فابيان) على اعتقاده في ان هذه التدفقات المتبرّدة الكبيرة في الحجم، لم تحدث (وهي غير موجودة على المدى الطويل). واحد التفسيرات المحتملة لذلك هو ان انبعاثات الطاقة على المدى الطويل من المجرة التي في مركز العنقود المجري قد ادت الى تسخين الغاز، ومن ثم الى ايقاف هذا التبريد الاشعاعي. وعلى مدى سنوات قام فلكيو الموجات الراديوية بتجميع الشواهد لمثل هذا النشاط. ولكن لم يعرف فيما اذا كانت هذه الانبعاثات قادرة على تزويد طاقة لمنطقة كبيرة في الحجم تكفي لايقاف الجريانات المتبرّدة. ويبقى اللغز قائما: يجب على الغاز ضمن العنقود ان يتبرّد، ولكننا لم نستطع اكتشاف المنتج النهائي لهذا التبرّد.

كان حل هذا اللغز احد اهم اهداف اطلاق مقرابين يعملان بالاشعة السينية عام 1999: مرصد تشاندرا Chandra ذي الاشعة السينية والتابع لوكالة ناسا ومرصد XMM-Newton التابع لوكالة الفضاء الاوروبية. ولكون الغاز في العنقود يشع طاقته نحو الخارج بشكل بطيء نسبيا فانه يحتفظ بسجل للفعاليات التي حصلت في العنقود خلال بلايين السنين القليلة الماضية. فعلى سبيل المثال، يحتوي هذا الغاز على العناصر والطاقة التي خلّفت فيه من انفجارات المستعرات التي حدثت ضمن مجرات العنقود. وكحال علماء الآثار الذين يستكشفون الماضي من خلال الاحافير (المستحاثات)، فإن الفلكيين يستخدمون هذه المقاريب الحديثة لينقبوا في الانسال والآثار المتبقية من مجرات العنقود من اجل معرفة تاريخه.

فقاعة، فقاعة

ان العنقود الاكثر سطوعا والذي تم اكتشافه باستخدام الآلات التي تعمل بالاشعة السينية هو عنقود بيرسوس Perseus، وذلك بسبب سطوعه الذاتي الكبير وقربه النسبي الى الارض (نحو 300 مليون سنة ضوئية). لقد اكتشف مرصد روسات خلال التسعينات تقبين كبيرين في الغاز الذي يتم ملاحظته بالاشعة السينية، وذلك في المنطقة المركزية من العنقود والتي يبلغ قطرها نحو 50000 سنة ضوئية. ويبدو الثقبان كساعة رملية متوضعة على المجرة الضخمة NGC 1275. وقد اعاد <فابيان> ومعاونوه هذه الملاحظة، باستخدام مرصد تشاندرا هذه المرة، وقاموا بفحص الثقبين بتدقيق اكبر. وقد اظهرت بيانات تشاندرا الفجوتين بكل تفاصيلهما، موضحة اصطفافهما مع نفث الموجات الراديوية، التي تمت ملاحظتها سابقا وانبعاثه من مركز المجرة الضخمة. وفجوتا الاشعة السينية هاتان ليستا فارغتين، بل هما مملوءتان بحقول مغنطيسية وجسيمات عالية الطاقة، مثل البروتونات والالكترونات. وترتفع وتعوم هاتان الفجوتان النشيطتان والمنخفضتا الكثافة لتضعا جانبا الغاز الحار الذي

(*) Bubble Bubble

(**) ... المستعرات الفائقة

تصدر الأشعة السينية.

وتحتوي عناقيد أخرى كذلك على فقاعات. وقد كشفت أرصاد مرصد تشاندرا عن وجود فجوات أشعة سينية بإشعاعات راديوية مصاحبة لها وذلك في العناقيد هايدرا A (Hydra A) وهرقل A (Hercules A) وأبيل 2597 (Abell 2597). وقد كشفت المراقبات كذلك عن وجود فقاعات باهتة سواء تمت رؤيتها باستخدام الموجات الراديوية أو باستخدام الأشعة السينية، مما يدل على أن الجسيمات ذات الطاقة العالية داخلها قد فقدت غالبية طاقتها. وقد انفصلت الفجوات الشبحية هذه عن المجرّة المركزية، ويمكن أن تكون آثارا لمخلّفات فقاعات سابقة.

إن الفعالية الأكثر لفتا للنظر والتي تمت رؤيتها عبر مرصد تشاندرا، هي ما اكتشفه B. R. ماكنامارا [الذي يعمل في جامعة واترلو بأونتاريو] ومعاونوه، في العنقود MS 0735.6+7421 (وسندعوه اختصارا MS 0735). ومع أن صورة هذا العنقود ليست بوضوح صورة عنقود پيرسيوس، فإنها تحمل قصة مذهلة: يبلغ قطر كلٍّ من فجوتي الأشعة السينية للعنقود نحو 600 000 سنة ضوئية، أي أكثر بست مرات من قرص مجرتنا درب التبانة. ويدلّ حجما هاتين الفجوتين وكثافتاهما الملاحظتان ودرجة حرارة الغاز المحيط بهما على أن عمرهما يبلغ نحو 100 مليون سنة ضوئية. وعلى أنهما تحتويان على طاقة حركية ضخمة مكافئة لطاقة 10 بلايين من المستسعرات. وحتى الفلكيون الذين اعتادوا التعامل مع البلايين والتريليونات يصابون بالدهشة من ضخامة هذه الفقاعات وما تمثّله من طاقة عملاقة.

وهذه الطاقة تكفي لحلّ لغز الجريانات المتبرّدة. وفي الحقيقة، فقد استخدم E. L. بيترسون [الذي يعمل في جامعة بيردو] وآخرون أطيافا تمّ قياسها بواسطة المقراب XMM ليبيّنوا عدم إمكانية حدوث الجريانات المتبرّدة في العناقيد التي تحوي مثل تلك الفقاعات. وهذا دليل قوي على أن الفقاعات توقف تبرّد الغاز. ولكن هناك حلقة مفقودة في هذه الحجة: كيف يتم انتقال الطاقة من الفقاعة إلى الغاز؟

هناك إجابة واضحة عن السؤال السابق، وهي أن الفقاعات تولّد موجات صدم قوية مماثلة للانفجارات على الأرض وانتشارها في الغلاف الجوي. فعندما تندفع المادة الحاملة للطاقة والناجمة عن الانفجار نحو الغلاف الجوي بسرعات فوق صوتية، فإنها تجرّ معها الهواء المحيط بها ليشكّل غلافا رقيقا حولها، وتسبب الاصطدامات بين الجسيمات المتحرّكة تحوّل الطاقة الحركية إلى حرارة. وكذلك فقد تمت ملاحظة موجات صدم قوية ضمن ظواهر كونية متنوعة، مثل

مخلّفات انفجارات المستسعرات.

ويقال إن H. L. مينكن لاحظ أنه لكل مسألة معقدة هناك إجابة واضحة وبسيطة ولكن خاطئة. ولسوء الحظ، يبدو أن ظاهرة تسخين غاز العنقود من خلال موجات الصدم القوية تنطبق عليها هذه الملاحظة. فالمقاريب لا ترصد أيا من تلك الأغلفة الرقيقة الحارّة التي كان سيولّدها هذا التسخين. ومن المحتمل أيضا أن يكون التسخين بواسطة موجات الصدم القوية متركّزا على المناطق المركزية من العنقود بصورة لا تكفي لإيقاف تبريد غاز العنقود الذي يحصل على نطاق واسع.

بيد أن هناك آلية أكثر احتمالا لنقل الطاقة، وهي التسخين عبر الموجات الصوتية. فقد يكون الغاز بين المجرّات داخل العناقيد متخلخلا وقليل الكثافة بالنسبة إلى مقاييسنا البشرية (فهو يكافئ لوجود بضعة آلاف من ذرات الهدروجين لا غير في المتر المكعب)، ولكنه لا يزال يسمح بانتشار الموجات الصوتية فيه. وتتطوّر هذه الموجات لتصبح موجات صدم ضعيفة تكون بالكاد فوق صوتية وتقوم بتسخين لطيف للغاز.

ومن خلال معالجة خاصة لصور عنقود پيرسيوس، وجد فابيان ومعاونوه الدفع الدخاني لهذه الفكرة، ألا وهو وجود متسلسلة من التموّجات الوحيدة المركز تقريبا. تتغيّر كثافة الغاز وقيمة ضغطه بشكل فجائي عند التموّج الأقرب إلى الداخل، في حين لا تعاني درجة حرارته هذا التغيّر، مما يدلّ على كونه موجة صدم ضعيفة. وتتغيّر قيم الكثافة والضغط بشكل تدريجي عند التموّجات الخارجية الأبعد، مما يدلّ على كونها موجات صوتية. وتقتضي المسافة الفاصلة بين التموّجات (35 000 سنة ضوئية) وحساب سرعة الصوت في الغاز

(*) Overview/ Monster Bubbles

(**) [illegible] (وحجمها نحو

إن قدرة ثقب أسود على التأثير في مصير عنقود مجرّي برمّته أشبهُ بحال حبة توت صغيرة تؤثّر في مصير كوكب الأرض بمجمله.

نظرة إجمالية/فقاعات عملاقة(*)

- اكتشف الفلكيون، من خلال استخدامهم مقاريب تعمل بالموجات الراديوية وبالأشعة السينية، فقاعات ضخمة تحوي جسيمات عالية الطاقة ويزيد قطرها على مئات الآلاف السنين الضوئية. ويتجاوز المقدار اللازم لتكوين هذه الجسيمات حدا يفوق الوصف والتصديق كما لو أن 100 مليون نجم صارت مستسعرا دفعة واحدة.
- الشيء الوحيد القادر على تكوين مثل هذا العملاق هو ثقب أسود ضخم. فليس كلّ ما يقترب من الثقب الأسود مصيره الفناء، إذ إن الغاز الحار والمضغوط والذي يدوم بشكل قرص تنامٍ(**) نحو الثقب الأسود، يخضع لقوى كهرمغنطيسية آخذة بالنمو تلفظ قسما من الغاز خارجا على شكل نفث ضيق.
- لا تكوّن النفوث فقاعات فحسب، بل إنها تمنح الحرارة والطاقة المغنطيسية إلى الغاز الواقع بين المجرات ضمن العنقود المجرّي، مما يسمح بتفسير أحجيات في الفلك استعصى حلّها إلى الآن. ويبدو أن هذه السيرورة هي جزء من دورة تستغرق عدة ملايين من السنين لإتمامها، وهي ما ينظّم نمو المجرات الفائقة الضخامة في مراكز العناقيد المجرية.

تشريح بنية العنقود المجري(*)

إن أكبر الأشياء التي تستحق أن تُسمى «أشياء» هي العناقيد المجرية. ويتألف العنقود من نحو 1000 مجرة تجول وتدور ضمن كرة من الغاز الحار (*اللون الأحمر*) مثل النحل في خليته، في حين تمنعها الثقالة من التبعثر. وتوجد في مركز العنقود مجرة ضخمة - حيث تحدث في هذا المركز أعنف السيرورات الفيزيائية في الكون الحديث.

مجرّات متصادمة

حزمة

تغضنات وتموّجات (موجات صوتية)

100 000 سنة ضوئية

تجويف كبير (فقاعة)

مجرّة مركزية

10 ملايين سنة ضوئية

عندما تحمل الأشعةُ السينيةُ الطاقةَ للخارج، يتبرّد الغاز في العنقود ويبدأ بالتدفّق نحو الداخل. ومع مرور بلايين السنين، لا بدّ أن تتشكل نجوم جديدة من هذا الغاز المتبرّد، ولكننا لم نرَ إلاّ ما ندر من مثل هذه النجوم.



تفسّرُ دورةُ التسخين والتبريد سببَ عدم رؤيتنا لتلك النجوم. وتعيد نفوث الثقب الأسود الطاقةَ إلى الغاز وتوقف بذلك تدفّقَ هذا الأخير نحو الداخل.

يتبرّد الغاز ويبدأ بالجريان نحو الداخل

عندما يستهلك الثقبُ الأسود الوقودَ يتوقّف نفثه

يتوقّف تدفّق الغاز نحو الداخل

تتشتّت النفوث، ممّا يؤدي إلى تسخين الغاز

يزيد الثقب الأسود من دورانه حول نفسه ويطلق نفوثا

يلتهم الثقبُ الأسودُ المادةَ

(٦٠ [illegible] كيلومترا في الثانية) عبر ١٠ ملايين سنة من الحوادث المولدة للتموجات، وتكافئ الموسيقي لطبقة الصوت هذه هو علامة «سي» منخفضة في السلم الموسيقي الذي يبدو علامة دون المركزية بـ ٥٧ أوكتافا (سلم موسيقي)؛ وما ينقص هذه الموجات الصوتية من عذوبة موسيقية يتم التعويض عنه من خلال طاقتها وقوتها.

وتلاحظ الظواهر نفسها في عنقود فيركو (Virgo)، وهو العنقود الأقرب إلينا، حيث تفصلنا عنه مسافة ٥٠ مليون سنة ضوئية تقريبا. لقد تمكن «W. فورمان» ومعاونوه [في مركز هارفارد-سميثونيان للفيزياء الفلكية] باستخدام مرصد تشاندرا من رؤية المجرة المركزية M87 والرئيسية ضمن هذا العنقود. لقد وجدوا عددا من البنى الحلقية، كل منها بعرض ١٠٠٠ سنة ضوئية وبطول ٥٠٠٠ سنة ضوئية. ومن الممكن أن تكون هذه الأشكال، كأمثال التموجات في عنقود بيرسوس، ناتجة من موجات صوتية ولّدتها سلسلة من فقاعات ناجمة بدورها عن انفجارات نحو الخارج - وتفصل بين الواحد منها والآخر الذي يليه فترة ستة ملايين سنة. وهكذا تعلو الدرجة الموسيقية لهذه الموجات الصوتية بمقدار أوكتاف (سلّم) واحد عن مثيلاتها في عنقود بيرسوس. وكذلك اكتشف فريق فورمان انبعاثا ساطعا على شكل حلقة نصف قطرها نحو ٤٠٠٠٠ سنة ضوئية، ومن الجائز أن تكون جبهة لموجة صدم ضعيفة. كما وجدوا باستخدام الأشعة السينية فجوة ضخمة تمتد نحو ٦٠٠٠٠ سنة ضوئية عن مركز المجرة.

وتغيّر السؤال الآن وأصبح يتعلق بكيفية قيام الطاقة الموجودة في الموجات الصوتية بتسخين الغاز. وقد يكمن الحل في عدم تغير درجة حرارة التموجات الداخلية في عنقود بيرسوس عبر جبهة الصدم. ويمكن للنقل الحراري أن يحمل معه بعيدا وسريعا طاقة جسيمات الغاز التي سخّنتها موجات الصدم. أو يمكن للإلكترونات ذات الطاقة العالية التي نفدت من الفقاعات أو أفلتت من وراء الموجات أن تتسارع وتنطلق بعيدا لتسخن الغاز. وأي من السيرورتين تمنع درجة الحرارة عند جبهة الصدم من الازدياد.

أعاصير كهرمغنطيسية

مع ذلك، فإن السؤال الأكبر هو ما سبب وجود الفقاعات بداية. هناك نوع واحد من الأشياء يمكن علميا أن يولد مثل هذه المقادير الكبيرة من الطاقة، وهو ثقب أسود فائق الكتلة. ومع أن غالبية الناس تفكر بالثقوب السوداء على أنها البواليع الدوارة، فإنها يمكن كذلك أن تجمع المادة ثم تقذفها خارجا بسرعات كبيرة. وتبقى المسألة المتعلقة بكيفية فعل الثقوب لذلك موضوع بحث ودراسة مكثفين في السنوات الماضية.

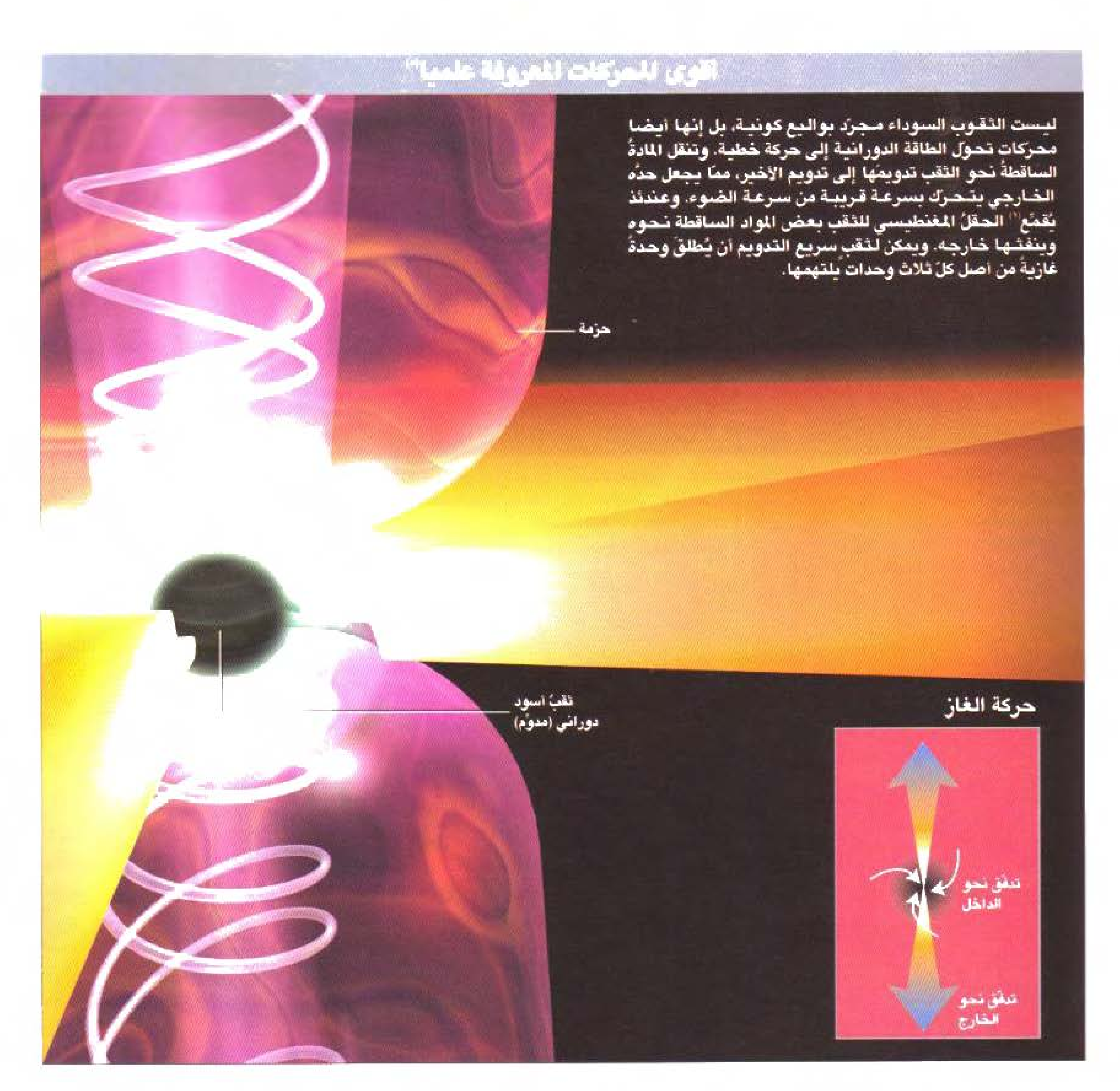
وتبيّن سيرورات المحاكاة أن الثقب الأسود يمكن أن يؤدي دور محرك عملاق. فالغاز الذي يسقط داخل هذا المحرك يزيد من سرعة دورانه، وعندها تحوّل الحقول المغنطيسية هذه الطاقة الدورانية إلى حركة حلزونية مستمرة تقذف جزءا من الغاز. وأول من اقترح هذا السيناريو في أواخر السبعينيات هو [R.] بلاندفورد [في جامعة ستانفورد] و[R.] زناجيك [وكان عندها في جامعة كامبردج ثم ترك العالم الأكاديمي من حينها]: إن الثقب الأسود الدوار يسبب ما يشبه الالتواء في بنية نسيج الفضاء حوله. وهنا يجبر الحقول المغنطيسية في الغاز الساقط للداخل على اتخاذ شكل قمع، فنحصل على إعصار كهرمغنطيسي يقذف خارجا حقولا وجسيمات مشحونة ضمن نفثين متعاكسين. أما الثقوب الدوارة ببطء فتطلق نفوثا ضعيفة، فتستمر غالبية الغاز الساقط في طريقها نحو الثقب لتفقد إلى الأبد. وخلافا لذلك، تطلق الثقوب السوداء السريعة التدويم ربع الغاز الساقط تقريبا نحو الخارج.

ويتوقع للثقوب السوداء الفائقة الكتلة والمتموضعة في مراكز المجرات أن تدوم خلال استمراريتها للكتلة عبر امتصاصها للغاز. وعندما يبتلع الثقب كمية كافية من الغاز بحيث تتضاعف كتلته، فإن أفقه أو حده الخارجي ينبغي أن يتحرك دورانيا بسرعة قريبة من سرعة الضوء. ووفقا لنظرية أينشتاين في النسبية، لا يمكن للثقب أن يصل إلى سرعة الضوء مهما كانت كمية الغاز التي التهمها. ومن ثم فإن أي قطعة إضافية مكتسبة من الغاز سينجم عنها تأثير متناقص. وتؤكد طرق متنوعة في الرصد من أجل تقدير تدويم الثقوب السود أن كثيرا من هذه الأخيرة تدور حول نفسها بسرعة كافية لإطلاق نفوث قوية وفق السيناريو السابق. ويمكن لظاهرة مماثلة أن تحدث على مستوى أصغر، فالثقوب السوداء النجمية الكتلة، أي التي تقارب كتلتها كتلة نجمية من الشموس (عوضا عن ملايين منها)، يمكن أن تضخ خارجا نفوثا قوية من جسيمات بسرعات قريبة من سرعة الضوء مما يسخن الغاز المحيط ويدفعه جانبا.

وتبين الحسابات أن نفوث الثقوب السود لها مركبتان أساسيتان: تدفق أعلى مادي للخارج ويتحرك بسرعة مقاربة لثلث سرعة الضوء، مشكلا الغلاف الأبعد من القمع. أما المركبة الأخرى فهي المنطقة الداخلية على طول محور القمع وتحتوي على غاز مخلخل لجسيمات بطاقات عالية جدا. إن المنطقة الداخلية هي ما يحمل القسم الأكبر من الطاقة ويخلق البنى الدرامية التي يراها فلكيو الأشعة السينية أو الموجات الراديوية.

إن إحدى أهم الخصائص المدهشة لنفوث الثقوب السوداء هذه هي قدرتها على المحافظة على شكل قلم الرصاص الذي لها حتى بعد اجتيازها مسافات من رتبة مئات آلاف السنين الضوئية، بعيدا عن نطاق مصدرها الأولية بكثير. وإضافة إلى ذلك، تنجح النفوث في تحقيق هذا الأمر وهي بالكاد تسيح أية مقادير من الطاقة التي تحملها. ومن الممكن لضغط الغاز قرب الثقب الأسود أن يولد نفثا على شكل حزمة ضيقة، ثم يقوم الانضغاط الذاتي بإبقاء النفث ضيقا تماما كما يبقى الماء من خرطوم سقاية، أو كما يتدفق البخار من غلاية السماور ذات الضغط العالي. وكذلك يمكن للحقول المغنطيسية الملتفة والمتراصة التي تنطلق خارجا مع النفث أن تؤدي دورا في تحقيق هذه الخاصة.

وبغض النظر عن آلية الانحصار، فإن ضغط الغاز الذي يتحرك ضمنه



حتى سيفرض نفسه تدريجيا لنشاط النفوث وتعرض وسيصبح مكونة عمود ضخمة من الجسيمات ذات الطاقة العالية والمنغطة وتستمر هذه العمود ... مزيحة للخارج الغاز المحيط فتحقق تلك النفوثات نفسها التي تم رصدها بالأشعة السينية في مرصد تشاندرا.

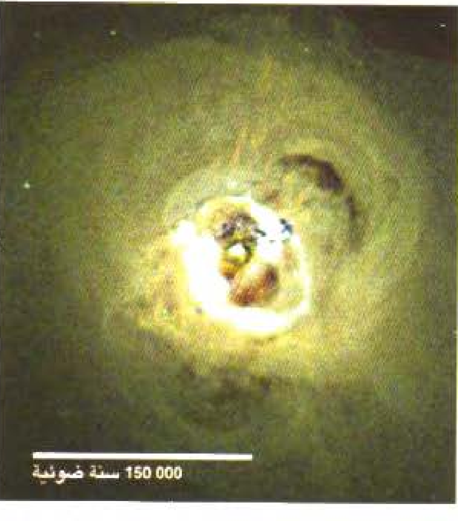
الدورة الهدرولوجية الكونية(**)

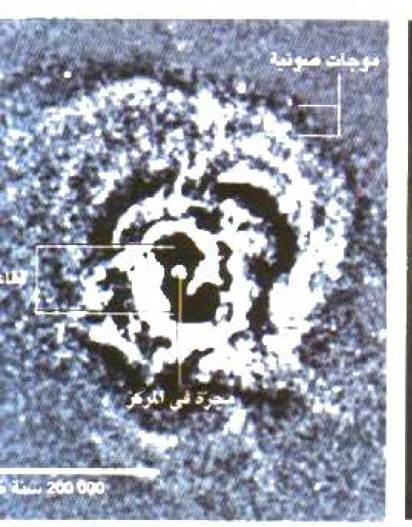
إن الأحداث المتعاقبة - التي تبدأ بسقوط غاز داخل ثقب أسود سريع التدويم لينتج عن ذلك نفوثات ضخمة تتحرك نحو الخارج مسببة فقاعات عملاقة من جسيمات بطاقات عالية، تقود لتسخين مناطق واسعة من الفضاء - تمثل سيرورة تغذية عكسية لسلسلة كونية متقنة. إن الثقب الأسود لا يستجيب فحسب للأحداث بل يؤثر بدوره في هذه الأحداث التي تحصل على مستوى العنقود المجري برمته.

وأحد السيناريوهات المحتملة هو الآتي: في البداية، يكون الغاز في العنقود المجري حارا جدا ويكون الثقب الأسود الفائق الكتلة الموجودُ في مجرة ضخمة هادئا. وخلال نحو 100 مليون سنة، يبرد الغازُ الموجود في المناطق المركزية للمجرة ويأخذ بالانحدار نحو المجرة المركزية في جريان متبرد. ويتكاثف قسمٌ من هذا الغاز في الجريان المتبرد ليشكل نجوما تصبح لاحقا جزءا من المجرة المركزية في حين يعوض قسمٌ آخر ويكمل الطريق إلى أن يغذي الثقب الأسود الفائق الكتلة. وعبر هذا الفعل يخلقُ الغاز قرص استراد للثقب ويؤدي إلى إطلاق نفوث بطاقة عالية.

(*) THE MOST POWERFUL ENGINES KNOWN TO SCIENCE







عنقود برسوس كما نراه باستخدام الضوء المرئي (في اليمين) وكما يبدو عندما نرصده باستخدام الأشعة السينية (في الوسط) ... الواقع بين المجرات بغاز حار ... المجرة المركزية NGC 1275 فقاعتين تدوران ... ولكنهما في الحقيقة تحتويان على جسيمات بطاقات عالية. ومن خلال زيادة التباين في الصورة (في اليسار) تبدو تموجات نعتقد أنها موجات صوتية تنقل الطاقة إلى الغاز الواقع بين المجرات. ومن أجل رؤية رسوم متحركة لصور تصفح الموقع chandra.harvard.edu/photo/2003/perseus/animations.html

وتنطلق النفوث من داخل المجرة تتصل خارجها، حيث يوجد غاز العنقود الحار، فتتحول طاقتها إلى حرارة. ثم تنقص هذه الحرارة من سرعة الجريان المتبرد، إن لم توقفه نهائيا. بيد أن الأمر إذا عُكس فإن التي تنقص إليه ... إيقاف الجريان المتبرد يؤدي إلى إيقاف تزويد الثقب الأسود الفائق الكتلة بالغاز، ويعود الثقب تدريجيا إلى حالة الهدوء، وتتلاشى ... النفوث، مما يحرم غاز العنقود من مصدر الحرارة. وبعد مرور ملايين أخرى من السنين، تكون خلالها قد تبرد الغاز الحار الموجود في المنطقة المركزية من العنقود بشكل كاف ليبدأ ... من تغذية المجرة وثقبها الأسود الفائق الكتلة، مما يؤدي إلى استمرار الدورة.

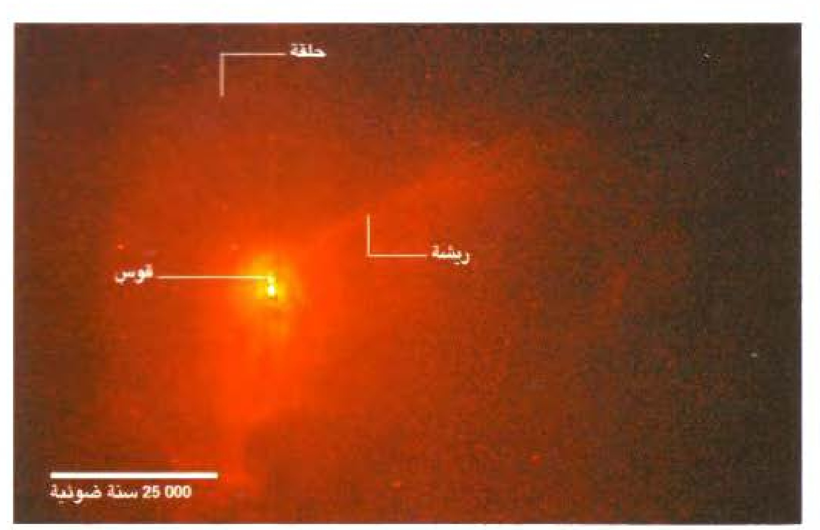
ويدعم هذا السيناريو صور عديدة تحليل ... العنقودي فيرگو وهيدرا ... وعناقيد أخرى حدث باستخدام الأشعة السينية أو الموجات الراديوية. فهذه الصور تقدم دلائل على وجود انفجارات متكررة تحدث بالقرب من الثقوب السوداء الفائقة الكتلة الواقعة في المجرات المركزية، أي وجود ... والفقاعات والأشياء ذات الشكل ... والنفوث بأحجام متعددة تتراوح من بضعة آلاف إلى مئات الآلاف من السنين الضوئية، ما يؤدي إلى حدوث هذا النوع من النشاط العنيف داخل العناقيد المجرية خلال فترة ... إلى عدة ملايين السنين.

وإحدى النتائج المدهشة في أن الثقوب السوداء الفائقة الكتلة الآن ... تنمو وتكبر بمعدل سريع حتى يومنا هذا، في حين كان الفلكيون يعتقدون سابقا أن نموها قد تناقص. وفي حالة العنقود MS0735 يدل هذا النشاط على أن الثقب الأسود الفائق الكتلة قد ابتلع ما يكافئ 300 مليون شمس خلال 100 مليون السنة الماضية، وبذلك يكون قد ضاعف من حجمه وكتلته في هذه الفترة القصيرة نسبيا. ومع ذلك لا دلائل على وجود أنواع أخرى من النشاط في الثقب الأسود المركزي هذا، كأن يصدر أشعة سينية ساطعة أو ضوءا مرئيا كما تفعل عادة الثقوب النشيطة. ونستطيع كشف خواص هذا النظام اللااعتيادي فقط من خلال الفجوات التي تم رصدها بالأشعة السينية.

نتائج كونية

ومما يؤكد هذا السيناريو وجود التصادمات المجرية التي تحدث دائما في المناطق المركزية من العناقيد المجرية. فعندما تمر مجرة صغيرة نسبيا بالقرب من المجرة المركزية الضخمة بدرجة كافية فإنها تتمزق ربما، فتلتحق نجومها بالمجرة الأكبر ويصبح قسم من غازها في ... الثقب الأسود. أما ثقبها الأسود المركزي فيتحد مع ذلك الموجود في المجرة الضخمة. إن المجرات الضخمة التي لاحظناها في العنقود MS0735 يمكن أن تكون الناتج النهائي لسلسلة أحداث بدأت عندما التحمت مجرة بالمجرة المركزية فأدت إلى تدفق ضخم من الغاز نحو الداخل باتجاه الثقب الأسود الفائق الكتلة.

... التصادمات في العناقيد المجرية ... تشكل المجرات في الكون في مراحله المبكرة ... العناقيد عبارة عن أحافير ... لأنها تمثل ... الوحيدة في الكون التي تحتوي على الشروط التي كانت سائدة قبل بلايين السنين عندما كانت المجرات قريبة بعضها إلى بعض ... وعندما كانت حوادث الاصطدام والاتحاد أكثر شيوعا ... فريدة من ... كثير من ظواهر تشكل المجرات وتطورها ... حجم المجرات وسكانها ومعدل تشكلها ... يمكن أن نفهم من خلال ... وجود دورة كونية تتضمن اتحاد المجرات والتحامها ... هيكل ... في مركز هارفارد - سميثسونيان للفيزياء الفلكية من خلال ... التي جرت باستخدام ...





إن قوى الانفجارات التي نحن بصددها حدثت ويستمر حدوثها في العنقود MS 0735 منذ 100 مليون سنة. وتعتبر الفقاعتان (اللون الأزرق) في هذه الصورة المركبة والتي حصلنا عليها باستخدام الأشعة السينية والموجات الراديوية معا، أقوى بـ 250 مرة من مماثلتها في عنقود برسيوس.

تعوض [illegible] التي خارج المجرة M87 في عنقود فرگو عن ضعفها النسبي، حيث إن طاقتها لا تتعدى 0.01 في المئة من طاقة مثيلاتها في العنقود MS 0735، بأشكالها وتفاصيلها المتنوعة. فشبابة الثقوب تشكل ريش [illegible]، وقد تكون عدة بقايا من انفجارات سابقة. وتشكل الأقواس قد تكون [illegible] (shock waves)، وتشكل حلقات ضعيفة قد تكون موجات صوتية.

إن اتحاد المجرات الغنية بالغاز يدفع إلى تشكيل أعداد كبيرة من النجوم وإلى حدوث تدفقات غازية نحو الداخل باتجاه المنطقة المركزية. ويؤدي الغاز المتساقط نحو الداخل إلى نمو سريع للثقب الأسود الهائل الكتلة وإلى زيادة في الإشعاع الصادر عن المنطقة المحيطة به. ويرمي هذا التلقيم العكسي بمقادير كبيرة من الغاز خارج المجرة فيتوقف تشكل النجوم بشكل مفاجئ، مما يخفض ويبطئ نمو الثقب الأسود. ويستمر ذلك إلى أن يحدث اتحاد آخر.

لقد حدث القسم الأكبر من سيرورة **التغذية الراجعة** هذه، التي تحكمت في تطور المجرات، في الماضي قبل نحو 8 إلى 10 بلايين سنة، ومن حسنها صار الكون أرق بكثير من خلال اتساعه وتمدده. ومن خلال دراسة سيرورات تشكل المجرات باستقصاء داخل العناقيد، فإن سيرورات التلقيم العكسي في العناقيد مشابهة وإن كانت غير مطابقة للسيرورات التي حدثت في الكون القديم، تسمح للفلكيين بدراسة التفجرات والدفعات والموجات التي تحكمت في مصير مجرتنا ومجرات أخرى.

قد يبدو غريبا أن تؤثر الثقوب السوداء الهائلة الكتلة التي تتراوح كتلها بين بضعة ملايين ومئات الملايين من كتلة الشمس في المجرات التي تتراوح كتلتها بين بضعة بلايين وبضع مئات البلايين من كتلة الشمس، هذا إذا لم نذكر تأثيرها في مصير العناقيد المجرية برمتها والتي تقاس كتلتها بمئات التريليونات من كتلة الشمس. ويكمن ذلك في توضع الثقوب السوداء الهائلة الكتلة بجاذبيتها الثقالية في منطقة صغيرة جدا. إن الثقوب السوداء الهائلة الكتلة هي أكثر مراكز الطاقة الكامنة الثقالية في المجرة كلها، وعبر استرجاعها جزءا من الطاقة من خلال أقراص التنامي، وذلك بإطلاق النفوث الضخمة، فإن التلقيم العكسي يرتبط بمقدار كبير بقدرة هذه الثقوب السوداء، مما يجعلها من أهم السيرورات الفيزيائية التي تحدث في الكون. ■

المؤلفون

Wallace Tuker   Harver Tananbowm   Andrew Fabian

[illegible]

مراجع للاستزادة

Black Holes and Time Warps. Kip Thorne. W. W. Norton, 1994.

Cooling Flows in Clusters of Galaxies. A. C. Fabian in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 32, pages 277–318; 1994.

A Deep Chandra Observation of the Perseus Cluster: Shocks and Ripples. A. C. Fabian et al. in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 344, No. 3, pages L43–L47; September 2003. Available at http://arxiv.org/abs/astro-ph/0306036

Energy Input from Quasars Regulates the Growth and Activity of Black Holes and Their Host Galaxies. Tiziana Di Matteo, Volker Springel and Lars Hernquist in *Nature*, Vol. 433, pages 604–607; February 10, 2005. arxiv.org/abs/astro-ph/0502199

Magnetically Driven Jets in the Kerr Metric. J. Hawley and J. Krolik in *Astrophysical Journal*, Vol. 641, No. 1, Part 1, pages 103–116; April 10, 2006. arxiv.org/abs/astro-ph/0512227

For the latest from the Chandra and XMM-Newton orbiting observatories, see http://chandra.harvard.edu and http://xmm.esac.esa.int

Scientific American, March 2007

التابل المداوي*

هل يمكن لأحد مكونات الكاري curry أن يعالج الأمراض، من داء ألزايمر إلى السرطان؟

ستكس

كان البحث عن دواء جديد من خلال تصفح دساتير الأدوية الشعبية القديمة أو من خلال التقاط نبات من شاطئ آسيوي في الغابات، قصة تاريخية مشبعة ومتداخلة على نحو كبير. فالعديد من المركبات العلاجية المعروفة جيدا كان مصدرها الأشجار والشجيرات **والرخويات** mollusks وحتى التراب. لقد كان مصدر **الأسبرين** aspirin قلف أشجار الحور، ومصدر الأدوية الخافضة للكولسترول **ستاتنز** statins هو **عفن**، ومصدر **الأرتيميسينين** artemisinin الدواء المضاد للملاريا هو شجيرة تستعمل في الطب الشعبي الصيني. والآن وبعد تخصيص 800 مليون دولار أمريكي في التسعينات في أكبر دعوة لعصا سحرية من أجل استخلاص معلومات مضبوطة نسبيا حول أدوية رائدة جديدة، فقد اضطرت شركات عديدة للأدوية إلى تقليص تطلعاتها في البحث، حتى صار عملها ليس أكثر من بيع منتوجاتها **كمكملات** غذائية supplements قبل أن تغلق أبوابها في النهاية بعد بضع سنوات.

أما الآن فإن نزعة البحث قد تعيد نفسها. فحديثا بدأ عدد من المركبات الطبيعية - مثل **ريزفيراترول** resveratrol من النبيذ الأحمر والحمص، **وأوميغا 3** omega 3 من زيت السمك - يلقى مزيدا من التفحص والتدقيق، لأن الأبحاث الأولية افترضت أن هذه المركبات الطبيعية قد تعالج بعض الأمراض وتمتعها بتكلفة زهيدة مع قليل من الأعراض الجانبية. وقد أخذ **الكركم** turmeric، وهو عبارة عن مسحوق أصفر برتقالي من نبات آسيوي يسمى Curcuma longa، مكانة هذه المركبات الطبيعية، وهو منذ زمن بعيد لم يكن يستعمل إلا لإعطاء نكهة للطعام وحفظه من التلف.

وعلى سبيل المثال، ثمة فصل في كتاب سيصدر قريبا يصف المكونات الفعالة موضوعيا للكركم - **الكركومين** curcumin والمركبات القريبة منه التي تدعى **كركومينويدات** أو **شبيهات الكركومين** curcuminoids - بوصفها مكونات تمتلك خواص **مضادة للتأكسد** antioxidant **ومضادة للالتهاب** anti-inflammatory **ومضادة للفيروسات** antiviral **ومضادة للبكتيرات** antibacterial **والفطريات** antifungal وذات فعالية محتملة ضد السرطان والسكري **والتهاب المفاصل** arthritis وداء **ألزايمر** Alzheimer وأمراض مزمنة أخرى. وقد ذكر الكركومين في عام 2005 في قرابة 300 ورقة علمية وتقنية في بيانات المؤسسة PubMed التابعة للمكتبة الوطنية الطبية، وذلك مقارنة بنحو 100 ورقة علمية وتقنية نشرت في السنوات الخمس السابقة.

وقد تحدى العلماء الذين يدعون أنفسهم مزاحا **بعلماء الكركومين** curcuminologists إلى هذا المركب لسبر أغوار هذه التأثيرات القيمة العديدة المحتملة في الجسم وسميته المنخفضة ظاهريا. وقد أمكن هؤلاء العلماء على التفكير في كيف يمكن أن نستعمل هذا **التابل** spice أو مستقاته، ليس فقط بوصفه علاجا، لكن بوصفه دواء وقائيا ذا تكلفة منخفضة لبعض العلل أو الأمراض الخطيرة. وبوصفه علاجا، فإنه يمتلك بعض خواص لافتة للنظر. وبسبب أن المسارات البيولوجية التي يستهدفها الكركومين عديدة، فقد يكون له فوائد في معالجة السرطان. قد تتفاوت الخلايا الخبيثة باكتساب مقاومة تجاهه، وهكذا فإنها تضطر إلى الدخول في **طفرات**

SPICE HEALER

يعطي الكركم Curcuma longa ريزومات (سوقا أرضية درنية) وهي التي ينتج منها التابل الذي يأخذ الاسم نفسه

mutations متعددة لتتجنب الهجمات المتكررة لهذا المركب.

ولكن هل هذا المركب (الكُرْكومين) قابل للاستعمال على نحو واسع؟ لقد قدَّمت بعض الأعمال أسبابا عديدة لأخذ الحذر. فقد أظهر أكثر من 1700 مرجع عن الكُرْكومين في المؤسسة PubMed كيف أن المركب الذي قد يؤثر في مسارات بيولوجية عديدة يمكنه أحيانا أن يؤثر في المكان الخطأ، وبهذا فإنه قد يساعد فعليا على تفاقم المرض.

تاريخ طبي طويل(*)

إن للكُرْكُم تاريخا طبيا يرجع إلى 5000 عام، فقد عُرف بأسماء عديدة، مثل *هالدي* في الهند و*جيانگ هوانگ* في الصين ومنجل في التاميل. وفي ذلك الزمن كان الكركم دواءً أساسيا لالتئام الجروح وتنقية الدم ولعلل المعدة في النظام الأيورڤيدي الهندي.

وأول سجل في المؤسسة PubMed للبحث عن الفعالية البيولوجية للكُرْكومين يعود إلى عام 1970، عندما ذكرت مجموعة من الباحثين الهنود تأثيرات هذا المركب في مستويات **الكوليستيرول** cholesterol لدى الجرذان. وفي التسعينات تسارعت الدراسات: وكان أحد العلماء القادة <B. أگاروال> [وهو عالم سابق في مؤسسة جيننتك Genentech] والذي قبْل أن يعود لدراسة الكُرْكومين قد سلك سلوكا آخر للبحث عن معالجات للسرطان، وقد قاده ذلك العمل على نحو غير مباشر إلى هذا المركب.

ففي الثمانينات كان <أگاروال> وفريقه في مؤسسة جَنِنْتك هم أول من قاموا بتنقية **جزيئين مناعيين** immune molecules مهمين ـ **عامل النَّخَر الورمي** tumor necrosis factor (TNF) ألفا وبيتا ـ وقد حُددت هويتهما على أنهما مركبان يمتلكان فعالية محتملة مضادة للسرطان. وفي الحقيقة، يستطيع هذان الجزيئان قتل الخلايا السرطانية عندما ينتشران في باحات محدَّدة: لكن عندما يتحركان على نحو واسع في مجرى الدم، فإنهما يكتسبان خواصَّ مختلفة، حيث يؤثران بوصفهما **معززين فاعلين للسرطان** potent tumor promoters. وتُنشِّط عوامل النَّخَر الورَمي (TNFs) أحد البروتينات المهمة، العامل النووي كابّا B، الذي يهاجم عندئذ حشدا من الجينات المنخرطة في الالتهاب وتكاثر الخلايا.

إن هذا الرابط بين الالتهاب والتكاثر غير المنضبط لخلايا السرطان قد شجع <أگاروال> على العودة إلى جذوره. ففي عام 1989 انتقل إلى مركز «M. D. أندرسون» للسرطان في جامعة تكساس. وبدأ البحث عن مركبات يمكن أن تلطِّف الالتهاب ولها تأثير مضاد للسرطان. متذكّرا من طفولته في الهند أن الكُرْكُم كان أحد المركبات المضادة للالتهاب في الأدبيات الأيورڤيدية، فقرر إجراء التجارب على هذا التابل. وتذكَّر ما حدث «أخذنا بعضا منه من المطبخ ونثرناه على بعض الخلايا.» وقد دُهشنا: حيث أ**حْصَر**(1) هذا التابل عامل النَّخَر الورمي(TNF) والعامل النووي كابا B.

قام <أگاروال> بنشر دراسات تُظهر أن إحصار مسار العامل النووي كابا B بوساطة الكُرْكومين يثبِّط **تنسُّخ** replication وانتشار أنماط متنوعة من الخلايا السرطانية. وقد مَثَّل هذا العمل نقطة انطلاق نحو التجارب السريرية (الإكلينيكية) الصغيرة الباكرة في مركز «M. D. أندرسون» باستخدام الكُرْكومين بوصفه دواء مساعدا على معالجة سرطان البنكرياس و**الورم النِّقْيي** myeloma المتعدد.

لقد بدأت التجارب، أو هي قيد البدء، في أمكنة أخرى من أجل الوقاية من سرطان **القولون** colon وداء **الزايمر** Alzheimer وأمراض أخرى. وقد أظهرت دراسات باكرة على الخلايا أو على الحيوانات أن الكُرْكومين يمكن أن يؤثر في طيف من **الأمراض الالتهابية** inflammatory diseases، بما في ذلك التهاب البنكرياس والتهاب المفاصل وأمراض الأمعاء الالتهابية والتهاب القولون والتهاب المِعدة وا **لأرجية** allergy و**الحمى** fever. وللكُرْكومين أيضا تأثير واعد في أمراض السُّكَّري و**المناعة الذاتية** autoimmune والأمراض **القلبية الوعائية** cardiovascular.

وحتى الآن تحتاج التجارب السريرية الكبيرة إلى أن تُجرى بهدف إثبات **النجاعة** efficacy ضد السرطان وأمراض أخرى. لكن <أگاروال> صار، مع ذلك، بطلا شرسا لأجل هذا التابل الذي أحضره <ڤاسكو داگاما> إلى أوروبا من رحلاته في الشرق. ولـ<أگاروال> فصل في كتاب جديد شارك في تحريره بعنوان «*الكُرْكومين: الذهب الخالص الهندي*».

لقد بدأ أيضا مركز <M. D. أندرسون> [وهو معهد عالمي رائد للسرطان] بترويج استعمال الكُرْكومين بأكثر مما يُتوقع لمعالجة لم تندرج ضمن الشروط القاسية للتجارب السريرية الكاملة. ويوصي قسم **الأسئلة المطروحة على نحو متواتر** (FAQ)(2) في موقعه على شبكة الإنترنت بشراء الكُرْكومين من تاجر جُملة مُعيَّن، كان <أگاروال> يعمل لحساب هذا التاجر.

ويفترض القسم (FAQ) أن مرضى السرطان يتناولون جرعة يومية تتزايد باطراد لتصل إلى جرعة مقدارها ثمانية غرامات كل يوم، أي أكثر بـ 40 مرة من المقدار المستهلك في معدل النظام الغذائي الهندي. وبعكس ذلك فإن معظم الشركات الصيدلانية توزعه بجرعات تقدر بالميليغرامات. وقد أكد الموقع على شبكة الإنترنت أنه «مع نهاية الثمانية الأسابيع الأولى، من المتوقع أن يكون هناك تحسن مهم.» وعندما سُئل <أگاروال> فيما إذا كان قلقا حول إمكان ظهور أية أعراض جانبية عند تناول جرعة يومية مكونة من ثمانية غرامات أجاب بأن بعض التجارب السريرية الصغيرة في معاهد أبحاث أخرى قد حددت جرعة تصل إلى 12 غرامًا وأن المرضى كانوا يبلغونه فيما لو حدثت أية تأثيرات معاكسة ناجمة عن الجرعة المنصوح بها من قبل مركز «M. D. أندرسون». والباحث، الذي يتناول حبة كُرْكومين يوميا، لا يأخذ بعين الاعتبار التحذير النموذجي للباحثين الذي يطلقونه قبل إجراء تجارب سريرية على نطاق واسع وذات شواهد حاكمة جيدة. وقال <أگاروال> «يأخذ الناس كمية كبيرة من **المكملات** supplements الأخرى، ولا أظن أنك بحاجة إلى أي شيء آخر بعد ذلك.»

هل يحرّض الكُرْكومين السرطان؟(**)

إن تعليقات القسم FAQ التابع لمركز «M. D. أندرسون» وسيل التعليقات الصحفية التي تطلقها معاهد متنوعة حول أعاجيب الكُرْكومين يتجاهلان قسما صغيرا من الأدبيات الطبية الذي يشير إلى جانب مُظلم، هو: إمكانية أن يعزز هذا التابل بقاء الخلايا

(*) Long Medical History
(1) blocked أوقف
(**) Does Curcumin Abet Cancer?
(2) frequently asked questions

دراسات حديثة تُظهر فوائد محتملة للكُرْكُومين ...(*)

الحالة المرضية	الاكتشافات	اسم المعهد	النشرة
التهاب المفاصل الروماتويدي	إن خُلاصة جذر الكُرْكُم تثبّط التهاب المفصل وتلفه في الجرذان.	University of Arizona College of Medicine	*Arthritis and Rheumatism*, November 2006
داء الزايمر	أظهرت الدراسات في أنابيب الاختبار أن الكُرْكومين قد ساعد الخلايا المناعية التي تدرك مكونات لويحات الزايمر Alzheimer's plaques.	U.C.L.A. and the Veterans Administration	*Journal of Alzheimer's Disease*, October 9, 2006
سرطان القولون	في مزارع الخلايا، أخمد الكُرْكومين نشاط أحد الهرمونات المرتبط بتنامي سرطان القولون.	University of Texas Medical Branch at Galveston	*Clinical Cancer Research*, September 15, 2006
سلائل قولونية مستقيمية colorectal polyps	إن توليفة مكونة من الكُرْكومين والمكوّن النباتي الكويرسيتين quercetin قد خفضت حجم وعدد تخربات ما قبل السرطان عند خمسة من المرضى.	Johns Hopkins University and Cleveland Clinic	*Clinical Gastroenerology and Hepatology*, August 2006
اختلال الاستعراف cognitive impairment	أكثر من 1000 شخص مُعمّر من سنغافورة وهم الذين يُعرف عنهم بأنهم يأكلون الكاري curry من آن إلى آخر على الأقل قد أحرزوا نقاطا أكثر من أولئك الذين نادرا ما يأكلون الكاري أو لم يأكلوه قط. ويمكن أن يُعزى هذا التأثير إلى الكُرْكومين.	National University of Singapore and other institutions	*American Journal of Epidemiology*, November 1, 2006

السرطانية. وفي عام 2004 كان «Y. شاؤول» [في قسم **الوراثة الجزيئية** molecular genetics في معهد وايزمان للعلوم] يدرس الإنزيم NQO1 الذي ينظِّم المستوى الكمي لأحد البروتينات المعروفة جيدا والذي يدعى البروتين p53. فعندما تزداد مستويات البروتين p53 في الخلايا، يقوم هذا البروتين بمناورة دفاعية عن الكائن الحي عبر تحريض الخلايا السرطانية أو المعطوبة لكي توقف الانقسام أو حتى تقتل نفسها.

ووجد «شاؤول» وزملاؤه أن أحد مضادات التخثر، ديكومارول dicoumarol، والمركبات المشتقة منه تُحصر الإنزيم NQO1، وهذا يمنع البروتين p53 من القيام بعمله. وقد تساءل الباحثون ماذا يمكن أن يحدث إذا عرَّضوا البروتين p53 في خلايا سوية وخلايا ابيضاض الدم **النِّقْيِيَّة** myeloid إلى **مضادات التأكسد** antioxidants، مثل الكُرْكُومين والريزڤيراترول. ومما سبب دهشتهم، أن الكُرْكومين، من خلال تثبيط الإنزيم نفسه، قد أوقف البروتين p53 عن إعدام الخلايا الزائغة (الشاذة). وقد تم الإعلان عن هذا الاكتشاف في عام 2005 في وقائع أعمال الأكاديمية الوطنية للعلوم بالولايات المتحدة الأمريكية. وقد نشر بعض الباحثين الآخرين نتائج مشابهة. وأجاب «أكاروال» عن ذلك من خلال الإشارة إلى دراسات أظهرت العكس تماما، أي إن الكُرْكومين في الحقيقة ينشط البروتين p53.

أما الآن فيجب على الباحثين السريريين (الإكلينيكيين) أن ينكبّوا على دراسة ما إذا كان عمل «شاؤول» في مزارع الخلايا يرتبط بما يحدث عندما يتناول الإنسان هذا المركب. إن مستويات تركيز الكُرْكومين المستعملة من قبل فريق معهد وايزمان في مزارع الخلايا ـ ذات التركيز من 10 إلى 60 ميكرومول (μM) ـ تعدّ مماثلة، إلى حد ما، للمستويات التي تم التوصل إليها في بعض تجارب أنابيب الاختبار التي أجريت من قبل مركز «M. D. أندرسون». ولكن بسبب أن الكُرْكومين يُمتص من الأمعاء إلى مجرى الدم على نحو ضعيف وكذلك بسبب أنه يتخرب بسرعة في الجسم. فعندما يستهلك مريض ثمانية غرامات من الكُرْكومين لن يبقى في بلازما دمه أكثر من 2.0 ميكرومول (μM)، بحسب ما ذكر «شاؤول»، مع أن ذلك التركيز يمكن أن يكون أعلى في الجهاز المعدي المعوي وفي الكبد. ومن الممكن أن يبقى مرتفعا أيضا إذا طوَّر الباحثون وسائل متنوعة لزيادة تركيز الكُرْكومين في مجرى الدم.

إن القسم FAQ يمكن أن ينقل الانطباع عن مدى الثقة في وصف جرعة من ثمانية غرامات. لكن الوجود المنخفض للكُرْكومين في الدم ـ ومن ثم الحاجة إلى رفع الكمية المستهلكة منه إذا كانت هذه المادة تكافح المرض ـ هو تحدٍ سوف يستمر يناكد الباحثين. وعموما استخدمت الدراساتُ المجراة على الحيوانات، التي ذكرها الباحثون بوصفها دراسات موحية لفوائد الكُرْكومين المتنوعة، أقلَّ من ثمانية غرامات على البشر، وكانت مستويات تركيز الكُرْكومين في الدم تقع عادة في مجال النانومول. وقد ذكر «شاؤول» «نحن لا نعرف كيف نفسر أن مثل تراكيز الكُرْكومين المنخفضة هذه يمكن أن تكون ذات فائدة على الحيوانات التي جرى عليها الاختبار.»

إن الجُرعة هي كل شيء بالنسبة إلى كل دواء جديد ـ فكل دواء علاجي، بما في ذلك الأسبرين، يصبح ساما في مستويات تراكيز عالية. وبالنسبة إلى معظم الأدوية الجديدة، فإن الجرعة الأفضل لبلوغ مستويات التركيز المرغوبة في بلازما الدم تُحدَّد عادة في جولات التجارب **قبل السريرية** preclinical في مزارع الخلايا وفي الفئران. وحاليا لا تصارع شركات الأدوية إحداها الأخرى لكي تكون الأولى في إجراء هذه الاختبارات على الكُرْكومين. فلدى هذه الشركات أفضلية للحصول على أدوية علاجية ذات أهداف رفيعة المستوى: مهاجمة أحد **المُستقْبِلات النوعية** specific receptor؛ ومن ثم، إمكانية معالجة المرض مع إنقاص الأعراض الجانبية، مع أن كل دواء له تأثيرات متعددة يمكنه، نظريا، زيادة فرصة حدوث أحد الأعراض غير المرغوب فيها. وثمة سبب آخر، هو المسألة المثيرة للجدل لحقوق ملكية الأدوية الشعبية.

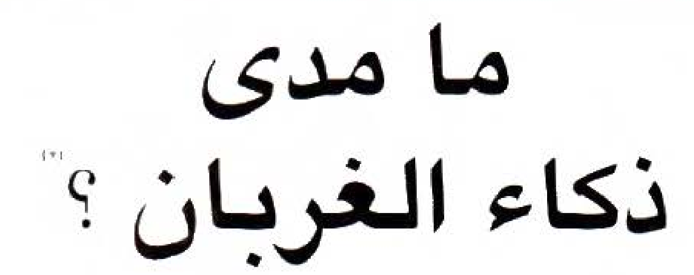
والكُرْكُم ثمرة مُلصق إعلاني لإحدى كبرى حالات الملكية الفكرية

(*) Recent Studies Show Possible Benefits from Curcumin

Majallat AlOloom

المجلد 23 ـ العددان 10/9
سبتمبر/أكتوبر 2007

مجلة العلوم



ما مدى ذكاء الغربان؟(*)

تُظهر التجارب الحديثة أن هذه الطيور تستخدم المنطق لحل مشكلاتها وأن بعض قدراتها يقارب، بل قد يفوق، قدرات القردة العليا.

<B. هاينرش> ـ <T. بكنيار>

قناص في الغابات الشمالية يشاهد غرابا **شائعا** (كورڤاس كوراكس *Corvus corax*)، وهو يتقلب على ظهره ورجلاه مرفوعتان في الهواء بجانب جثة قندس فوق الثلوج. ودارس للأحياء يتسلق، بعناء، أحد المنحدرات ليقوم بتركيب **حلق**(2) في أرجل أفراخ غرابين ويقوم أبواهما بإمطاره من أعلى بالصخور. وغراب وحيد ينعق بصوت مرتفع بالقرب من كوخ منعزل محذرا رجلا بالقرب منه لكي ينظر إلى أعلى ويلحظ سبُعا مختبئا على وشك أن يقفز عليه.

وكل من هؤلاء الأشخاص الثلاثة يفترض أنه كان يعرف ماذا أرادت الغربان. فالقناص ظن أن الغراب يتماوت متظاهرا بأنه قد تسمم لكي يبعد الغربان الأخرى حتى

(*) JUST HOW SMART ARE RAVENS?

(1) يسمى في بلادنا «الغراب الأسحم» أو «الغراب النوحي».

(2) يركب علماء الطيور حلقات معدنية مرقمة في أرجل الطيور لدراسة سلوكها ومتابعة تحركاتها. (التحرير)

نظرة إجمالية/ ذكاء الغربان(*)

- **مع أن السلوك الذكي للغربان يقنع معظم الناس أن الطيور ذكية، فإن ذلك لا يبرهن على أنها تستطيع بوعي كامل تأمل بدائل اختيار الأفضل من بينها.**
- **وللبت في ذلك قام المؤلفان بتصميم سلسلة من التجارب التي اشتملت على جذب لحم مربوط بخيط إلى أعلى، وإخفاء الطعام عن المتنافسين.**
- **لقد وجدا أن الغربان تستطيع استخدام المنطق لحل بعض المشكلات، وأنها تستطيع تمييز الأفراد (من البشر والغربان الأخرى) ونسبة معلومات معينة إلى هؤلاء الأفراد.**

يستحوذ على جثة القندس لنفسه. ودارس الأحياء ظن أن زوج الغربان كانا يتعمدان محاولة إصابته بالصخور لكي يذهب بعيدا. أما الرجل عند الكوخ المنعزل فقد ظن أن الغراب يحذره لينقذ حياته.

ولا يمكن استبعاد هذه الفرضيات المختلفة ورفضها، ولكن معظمنا ممن لهم صلة وثيقة بالغربان قد يقدمون تفسيرات أخرى أكثر احتمالا. فلعل الغربان أكثر الطيور حبا للعب، ويبدو أن من عادتها أن تتقلب على ظهورها لمجرد اللهو والتمتع بذلك. وهي غالبا ما تدق الأرضية في غضب أينما جثمت، عندما يكون هناك حيوان مفترس قرب عشها. وهي معروفة بأنها ترشد اللواحم (الحيوانات الآكلة للحوم) إلى فريسة محتملة لا يمكنها هي أن تتغلب عليها. ولذا فإن الغراب قد يكون مستهدفا إرشاد السبع إلى ذلك الرجل.

إن الحكايات حول الغربان عديدة، ويوحي كثير منها بأن هذه الطيور ذكية. ولكن القصص لا تعطي برهانا على وجود مَلَكة شريرة لديها، أو حتى صور السلوك المعقد للغربان ذات المعالم الأكثر وضوحا - مثل عادتها في نحت كتلة من الشحم إلى قطع صغيرة يصبح حملها ممكنا، أو قيامها برص رقائق البسكويت الجاف بعضها فوق بعض على نحو يساعدها على الطيران بالرصة كلها، أو معالجتها لكعكتين بطريقة تمكنها من حملهما معا في الوقت نفسه، أو قيامها بعمل مخابئ كاذبة للطعام لخداع المغيرين. جميع تلك الأعمال لا تبرهن على أن هذه الطيور قادرة على أن تتفحص بوعي الأفعال البديلة وأن تختار الأنسب من بينها.

وعلى أية حال، فمجرد المشاهدات لا يمكن أن تلغي احتمالات أخرى، مثل الغريزة أو تعلم تأدية أفعال محفوظة محددة من دون إدراك حقيقي. وفي الواقع، حتى تسعينات القرن الماضي، ربما لم يكن هناك سوى اختبار علمي دقيق واحد انطوى على وجود تفكير منطقي لدى الغربان من الطراز الذي نسلم بوجوده لدى البشر. لقد كان هذا الاختبار مجموعة من التجارب التي نشرها عام 1943 <O. كوهلر> [من معهد كونسبرگ لعلم الحيوان]. لقد أوضح أن غرابه البالغ من العمر عشر سنوات، والمسمى جاكوب، يستطيع العد حتى رقم سبعة، وذلك بتدريبه على استعادة الطعام من تحت واحد من بين عدة أوعية على أغطيتها بقع بأعداد مختلفة. ولكن الدراسات التي أجريت في السنوات القليلة الماضية - ومعظمها أجريناه نحن معا - قدمت في النهاية براهين ثابتة على أن الغربان ذكية حقا، بمعنى أنها قادرة على استخدام المنطق في حل المشكلات التي تواجهها. والأكثر من ذلك أننا وجدنا - لدهشتنا - أنها تستطيع حتى تمييز فرد من آخر. وفي هذا أيضا هي تشبه البشر كثيرا. فنحن لا نستطيع بناء مجتمعات (فيما عدا تلك التي تشبه مجتمعات الحشرات) دون هذه المقدرة.

برهان على القدرة على حل المشكلات(**)

ليست الغربان هي الطيور الوحيدة التي تشتهر عادة بالذكاء، فعلى مدى العقدين الأخيرين أوضحت كمية هائلة من الأبحاث أن أقارب معينين للغربان السُّحم (منها الغربان الصغيرة الأحجام، وكذلك **أبو زريق** Jays و**العقعق** Magpies و**كاسر الجوز** Nutcrackers) لها قدرات ذهنية محنكة مثيرة للدهشة. وتبدو هذه القدرات في بعض الأنواع مساوية لتلك التي تحوزها القردة العليا أو تفوقها. فعلى سبيل المثال، كاسرات الجوز لها ذاكرات خارقة تستوعب آلافا من مواقع مخابئ الغذاء، وهي قدرة تتحدى معظم الأفراد من البشر. وقد وجد أن غراب **كاليدونيا الجديدة** *Corvus moneduloides* يقوم بتشكيل أدوات من أوراق نبات الكاذي أو **الصنوبر الحلزوني** pandanus ويستخدمها لالتقاط اليرقات من بين شقوق الخشب. على أن الذي لم يُعرف بعد هو إلى أي حد

Overview/ Raven Intelligence (*)
Proof of Problem Solving (**)

تتضمن مثل هذه الأعمال الفذة برمجة ذاتية عمياء، مقابل **تعلم بالحفظ عن ظهر قلب**[10] وذاكرة (من خلال تجارب سابقة من المحاولة والخطأ) مقابل **تفكير** reasoning (الاختيار من بين بدائل تستحضر في الذهن ويجري تقييمها).

وقد قمنا (كاتبا المقالة) بابتكار تجارب لإيضاح دور هذه الاحتمالات وأهميتها النسبية. في أول هذه الاختبارات جابهنا الغربان فُرادَى بطعام معلق بخيط وللحصول على الطعام المقدم، عليها أن تصل إلى الخيط المتدلي تحتها من المجثم، وتمسك الخيط بمنقارها، وتجذب الخيط إلى أعلى، وتضع أنشوطة الخيط الذي جذبته على المجثم، وتقف فوق الخيط، وتقوم بالضغط عليه بالقدر المناسب الذي يمنع الخيط من الانزلاق، ثم تترك بقية الخيط، ثم تنحني لتمسك بالخيط المتدلي ثانية. وتكرر هذا التتابع ست مرات متتالية أو أكثر.

لقد وجدنا أن بعض الطيور اليافعة، على الأقل، تقوم بفحص الموقف حتى نهايته لدقائق، ثم تقوم بتنفيذ هذا الإجراء المتعدد الخطوات في أول محاولة لها في زمن ضئيل يبلغ 30 ثانية دون أية جهود أولية للمحاولة والخطأ. وفي «التشكيل» التقليدي للسلوك في حيوانات المختبر تُجزَّى الخطوات المتتابعة للسلوك المطلوب - بشكل نموذجي - بالطعام، في حين يُعاقب على الخطوات غير الصحيحة بصدمة كهربائية. ويفترض أن يجري ترابط تتابع دون حاجة الحيوان إلى تفهم كيف تسهم أية خطوة معينة منها في النتيجة النهائية. على أن حيواناتنا لا تواجه هذا الموقف في الحياة البرية. وعلى ذلك فإنها لم تتعلم من قبل كيف تقوم به عن طريق التجربة والخطأ. وعلى ذلك فإن أبسط اقتراح هو أنها تتخيل الإمكانات، ثم تتصور أي الخطوات عليها أن تجريها.

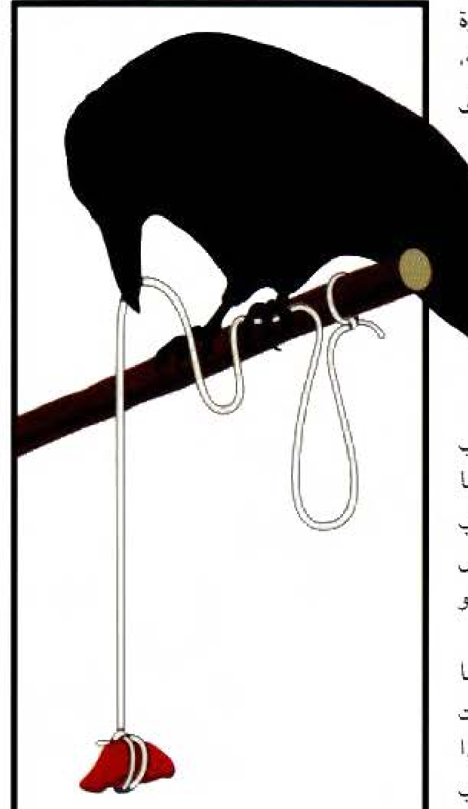
ومن المؤكد أن اجتياز الاختبار يحتاج إلى النضج، فالطيور الصغيرة (بعد شهر أو شهرين من ظهور الريش) غير قادرة على أن تقوم بهذا السلوك المعقد. وتحتاج الطيور، البالغ عمرها عاما واحدًا، إلى ست دقائق في المتوسط لتَحُلَّ الإشكالية وتختبر خلالها بوضوح الإمكانات المختلفة (مثل الطيران نحو الطعام ومحاولة تمزيق الخيط والإمساك به أو نزعه أو ليِّه).

ولم تعط جائزة الطعام نظير أية خطوة واحدة في منظومة الخطوات المتتابعة لجذبه، فعلى الغراب أن يُتم كل التتابع الطويل حتى يأكل. إلا أن أحدا قد يجادل بالقول بأن كل خطوة تحصل على جائزة ذهنية ومن ثم تعزز، وذلك ببساطة لأن الطعام قد يصبح أقرب، وأن الحيوان لا يعرف بالضرورة أن كل خطوة في التتابع تجعله أقرب إلى هدفه. ولكن هذا التفسير لا يصمد أمام النقد، ذلك أنه إذا ما كانت كل خطوة تُكتسب بالتعلم بالمحاولة والخطأ لكان الأمر محتاجا إلى محاولات عديدة، ولأخذ تتابع الجذب الكامل ربما شهورا من التدريب؛ ولكن ليس ذلك هو ما حدث، فالطيور كانت تعمل كما لو كانت تعرف ما تفعله.

ولكن لم يكن بوسعنا أن نعرف أنها تعرف إلا إذا ما تصرفت حسب توقعات معينة. فعلى سبيل المثال، إن الغربان إذا كانت تعرف ما تقوم به فإنها عندئذ يجب أيضا أن تعرف ما الذي فعلته. فمثلا كان عليها أن تعرف أن الخيط ظل بعد أن جذبت الطعام المربوط به متصلا بالمجثم. ولبيان إذا ما كانت قد فهمت، قمنا بإبعادها عن المجثم بعد أن قامت بجذب اللحم؛ فإذا ما أسقطت قطعة اللحم: فهمنا أنها كانت تعرف أنها معلقة بالمجثم، أما إذا طارت بها (ثم وجدت أنها تنتزع من مناقيرها) فإنها تكون لا تعرف. إن معظمها كان يلقي باللحم ولكنها كانت دائما تطير باللحم المربوط بخيط موضوع (وليس مربوطا) على المجثم.

لا تحتاج المعرفة إلى محاولات أو هي تحتاج إلى قليل منها، بينما التعلم بالمحاولة والخطأ لا يحتاج إلى منطق. ولذا بحثنا عن اختبار آخر لمعرفة ما إذا كانت الطيور قد حلت تحدي جذب اللحم بحركات عشوائية حدث أن كانت مُجزية، ولكنها لم تكن مدعومة بالمنطق. ففي هذه المرة جابهنا الطيور غير الخبيرة بالخيارات البدنية ذاتها ولكن بما أملنا أن يكون بالنسبة إليها موقفا غير منطقي، وهو خيط ذو أنشوطة يجب جذبه إلى أسفل لكي يرتفع بالطعام إلى أعلى.

وفي هذا الموقف ظلت الغربان راغبة في الطعام. لقد درست الموقف ثم أخذت تلتقط الحبل بمناقيرها وتجذبه، وبذا تجعله يصبح أحيانا أقرب قليلا، إلا أنها سرعان ما كَفَّت



للحصول على طعام معلق بحبل مربوط على مجثم، على الغراب أن يتبع تتابعا معينا من الخطوات: يدلي براسه إلى أسفل ثم يمسك بالخيط ويرفعه، ثم يضع الخيط المرفوع على المجثم، ويقف ضاغطا عليه حتى يمسك به في مكانه، ثم يترك المنقار الحبل. وتكرر العملية. بعض الغربان اليافعة قامت بدراسة الموقف لعدة دقائق ثم نفذت الخطوات جميعها من محاولتها الأولى. وهذا دليل على أنها استخدمت المنطق في ذلك.

عن ذلك ولم يتعلم أحد منها كيفية الوصول إلى الطعام، مع أن تتابع الجذب والتثبيت والإرخاء الذي كانت تحضر به الطعام بسرعة من قبل كان من المستطاع أن يأتي به ثانية. ولذلك نحن نعتقد أن الجذب المباشر إلى أعلى قد أُتقن سريعا، بل أحيانا على الفور تقريبا، ولم يكن ذلك إلا بسبب أنه كان مدعوما بالمنطق. ومن الواضح أن الغربان لديها القدرة على اختبار الأفعال في أذهانها وأن تتبين عوائد هذه الأفعال. وهذه الكفاءة ربما تكون غير موجودة، أو موجودة إلى حد محدود فقط، في معظم الحيوانات، ولعلة تكيفية جيدة.

(10) rote learning.

فوائد الذكاء(*)

ثمة سلوكيات دقيقة رائعة يمكن برمجتها وراثيا في حيوانات لها أدمغة ليست أكبر من رأس الدبوس، وذلك عن طريق عملية تظل حتى الآن واحدا من أسرار البيولوجيا الكبيرة التي لم نهتد إلى حلها. خذ مثلا الزنبار الذي يصنع الورق بخبرة منذ أول أيام وجوده والذي يقوم بتصميم عش ذي بناء دقيق من هذا الورق، في حين يستخدم زنبار آخر الطين ليصنع عشا على صورة هاون، بشكل مختلف تماما ولكنه أيضا ذو خصوصية بالغة. وبالمثل فإن طيور كل نوع مبرمجة لبناء أعشاش محددة الأشكال سلفا بدقة. فجميع **خطاطيف الأجران** barn swallows الآكلة للحبوب تبني عشا على هيئة رف من الطين يتصلب عند جفافه، في حين تنشئ **خطاطيف الأجراف** cliff swallows أعشاشا من الطين تشبه الأفران أيضا، ولكن بفتحة مدخل صغيرة مستديرة.

وليس بين هذه السلوكيات الأكثر تعقيدا ما يُتعلّم. كما أنه ليس بينها ما يعتمد على التفكير (مع أن التعلم والتفكير يمكن أن يعدِّلا بعض السلوك المبرمج وراثيا). إن التفكير والمنطق لهما سمعة سيئة بأنه قد لا يمكن الاعتماد عليهما، ويمكن أن يؤديا إلى كثير من الضرر كما نعلم جميعا حق العلم. والسؤال الكبير عندئذ هو: إذا كان السلوك مبرمجا سلفا بدقة هكذا، فلماذا بعض الحيوانات (نحن أنفسنا على سبيل المثال) تكون مهيأة للتخبط والخطأ؟ لماذا هي غير مفطورة، مثل معظم الحيوانات، على أن تفعل الأشياء على وجهها الصحيح، ما عدا ربما بعد تجربة الأشياء العديدة التي يمكن أن تؤدي إلى أخطاء مهلكة؟

إن الإجابة المعتادة هي أن هذه الحيوانات نشأت في بيئة معقدة لا يمكن التنبؤ بما سوف يقع فيها، وحيث تكون فيها الاستجابات الجاهزة غير مناسبة. فإذا كان بإمكان الحيوان تحديد أفراد، ويعيش بين آخرين يستطيعون بدورهم تعرّفه كذات مستقلة، عندئذ فإن البيئة ستصبح لكل منها معقدة حقا. وكثيرا ما يشار إلى الحياة الاجتماعية بين معظم الحيوانات التي يمكنها تمييز الأفراد بأنها القوة الدافعة لتطور الذكاء. وفي هذا السياق فإن القدرة على توقع استجابات الآخرين ـ الذين يكونون الملمح الرئيسي المهم للبيئة ـ تصبح قيمة للغاية؛ الأمر الذي قادنا إلى أن نأخذ في الاعتبار البيئة الاجتماعية للغربان لمحاولة فهم لماذا هي ـ أكثر من العديد من الحيوانات الأخرى ـ استفادت من كونها ذكية.

عند مجابهة الغربان بأن عليها أن تسحب الخيط إلى أسفل ليأتي الطعام إلى أعلى، بدا أن الغربان غير الحربة (تلك التي لم تجرب سحب الطعام المربوط بالخيط إلى الأعلى)، تعتقد أن الجذب إلى أسفل لجعل شيء يتحرك إلى أعلى هو عمل غير منطقي، وسرعان ما تتوقف (الشبكة السلكية منعت الطيور من سحب الخيط إلى الأعلى).

البيئة الطبيعية للغراب(**)

إن معظم التاريخ الطبيعي للغربان يدل على أنه كان عليها أن تتطور على نحو يجعلها قادرة على التواؤم مع ظروف قصيرة الأمد دائمة التغير. فهذه الطيور انتهازية بشكل أساسي، بمعنى أنها تقوم ببعض الصيد ولكنها متخصصة في أن تعيش على ما تقتله حيوانات أخرى. إلا أن الحيوانات المفترسة التي تمدها بالغذاء لا يمكن توقُّع أفعالها، ويمكن أيضا أن تقتلها. وقد يبدو تكوين الأفعال الشرطية من خلال المحاولة والخطأ في وقت طويل أمرا باهظ التكلفة، لأن أول خطأ يحدث يمكن أن يكلف الطيور حياتها، كما أن استجابة مبرمجة كليا لأكل لحوم لا يمكن التنبؤ بتصرفاته يمكن أن تكون خطيرة بالقدر نفسه.

كذلك تحتاج الطريقة التي تتنافس بها الغربان مع غربان أخرى من أجل الحصول على الطعام إلى التعامل مع ظروف دائمة التغير. وتحاول أزواج من الغربان المتاقلمة المحتلة للمنطقة أن تستأثر بمنجم الطعام، وتتخذ أعداداً من التجمع الكبير من صغار الغربان وأفرادها غير المتزاوجة خطة مضادة لحشد قطعان من الأزواج تفوق قوتها قوة المدافعين المتاقلمين. على أنه من الأمور ذات المغزى أن السلوك الذي يجعل هذه الحشود تجد طريقها إلى الطعام ويخفف من خطورة أعدادها، هو نفسه الذي يزيد من حدة التنافس على الموارد.

وفي الغالب، تستهلك اللواحم بسرعة جميع ما تفترسه. فمن المهم أن تحظى الغربان الموجودة بقرب هذه اللواحم بالقدرة على الشروع في مشاركة مبكرة في دورة الاغتذاء، بل الأفضل أن يكون ذلك مصاحبا للواحم وهي لاتزال تأكل من الفريسة. وكي تفعل ذلك تحتاج الطيور إلى أن تكون قادرة على التنبؤ بسلوك الحيوان المفترس، مثل ما إذا كان الحيوان سيقوم بالهجوم، ومتى سيكون ذلك، وإلى أي حد يمكن أن يقفز، وكيف يمكن تشتيت انتباهه. إن بعضا من هذه المعلومات ينبغي أن يكون واضحا قبل أن ينشغل الغراب بالغذاء، ذلك أن التجربة المطروحة يمكن أن تكون قاتلة.

وبكل تأكيد، ينبغي أن تكتسب الطيور الخبرة في أمان في وقت باكر من حياتها. إن صغار الطيور، عندما لا تكون مشغولة بالغذاء،

(*) The Benefits of Intelligence

(**) The Natural Environment of the Raven

تقوم روتينيا «باختبار» ردود أفعال الحيوانات الكبيرة (مثل الذئاب واللواحم الأخرى) بالتفاعل معها؛ عادة بأن تحط بالقرب منها، ثم تقوم بنقر مؤخراتها. ومن غير المحتمل أن يكون هذا السلوك متعمدا تكتيكيا، فالأكثر احتمالا أنه لون من «اللعب» تعرِّفه المراجع العلمية المعتبرة في هذا الموضوع على أنه سلوك ليس له وظيفة مفهومة في الحال، ولكن تكون له، بصفة عامة، وظيفة غائبة آجلة، فهو سلوك غير مقصود بوعي، ولكن تثبت فائدته على أية حال.

حتى الصغار تدرك أن نقر آكلات اللحوم عمل خطير (فهي تبدو خائفة عندما تقوم به)، ولهذا لا بد أن تكون مفطورة غريزيا عليه، لأن ممارسة الصغار لهذه اللعبة الخطيرة تساعد في النهاية على **البقيا** survival، وذلك بمنحها الخبرة في تقدير إلى أي حد تحوم حول رفاقها من آكلات اللحوم. وعن طريق هذا الاستفزاز تتعلم الصغار سريعا أي الحيوانات تثق فيها، ومقدار المسافات اللازمة للأمان. وعلى الجانب الآخر، إن وجود الغربان الدائم تقريبا حول آكلات اللحوم يعوِّد الحيوانات الأكبر على الطيور فتتعلم بالتدريج تجاهلها. ولكن تعلم كيفية التعامل مع آكلات اللحوم الخطيرة ليس إلا وسيلة تؤدي في النهاية إلى إيجاد طريق لمصدر غني بالطعام.

وفي معظم الأحوال يكون الوقت الذي يبقى فيه منجم الطعام قصيرا (جثث الأيائل في غابات «مين»، على سبيل المثال، تُستهلك في يوم أو يومين)، وهذا يوجب نقل الطعام بعيدا أولا ثم أكله فيما بعد.

ومثل سائر **الغرابيات** corvids تقوم الغربان الشائعة بنقل الطعام للاستخدام فيما بعد. وعند توافر جثة موضع صراع تقوم الغربان بنقلها بحماس ـ كتلة من اللحم وراء أخرى ـ وتخفيها بدفنها وتمويهها بفتات الحصى حتى تختفي تماما عن النظر. ومثل كثير من الغرابيات الأخرى أيضا، تتذكر الغربان مواقع خبيئاتها المتعددة بالضبط، وعادة ما تستعيدها في خلال ساعات أو أيام، إلا أنها، على عكس معظم الطيور الخابئة للطعام، تراقب بعناية سلوك الإخفاء لمنافسيها وتتذكر المواقع بالضبط، ليس لمخابئها فقط، بل أيضا للمخابئ التي رأت الحيوانات الأخرى تصنعها.

اللعب بالطعام وإخفاؤه(*)

بعد إدراكنا أن اللعب مع المفترسات يساعد الغربان على كيفية تقدير المواقف ثم التصرف وفقا لذلك، فقد عزمنا على أن نختبر ما إذا كان اللعب يساعد صغار الطيور حقيقة على اكتساب القدرة على ضبط سلوكها بمرونة. إن سلوك تخبئة الطعام قدم حقلا واعدا لهذه الدراسة، كما أن مَرْبى الطيور الكبير، الذي صممناه ليحاكي الظروف الطبيعية من أشجار وكساء أرضي، يمثل إطارا مناسبا للتجارب.

لقد وجدنا ـ كما رأينا من قبل ـ أن الغربان يتجنب كل منها الآخر في أثناء إخفاء الطعام، فهي تفضل أن تقوم بعمل المخابئ في خصوصية، أو تستخدم الأشجار أو الصخور لسد طريق الرؤية على الآخرين. كما أن أصحاب الخبيئة يحاولون إبعاد اللصوص المحتملين. وقد اكتشفنا أن مهارات التخبئة هذه تنبع من استجابات ذاتية تحرض هؤلاء الرفاق على القيام برد الفعل، ومن ثم تسمح بتعلم الاستجابات المناسبة. وهذه العملية الاختبارية والتعلمية تبدأ بين الإخوة الصغار بعد فترة وجيزة من تركها العش والبدء باتباع آبائها وتعلُّم كيف تتعرف التنوع الكبير للأشياء الغذائية الصغيرة مثل الحشرات والفواكه.

تدأب الغربان الصغيرة، وهي داخل العش ولبضعة أيام خارجه، على الإمساك بجميع طرز الأشياء بمناقيرها، كقرص أذناب الذئاب. ويعد هذا السلوك لعبا حيث إنه لا يجلب فوائد قريبة إلا أنه يتطلب بذل الوقت والطاقة أو التعرض للمخاطر. وفي الحقيقة، هذه الأشياء هي «لُعب». وفي تجارب على فقسة غربان مستأنسة، قام أحدنا بدور الأب وأخذ يرشد الطيور يوميا إلى التجول هنا وهناك. وكانت الصغار تشغل أنفسها بالتقاط الأغصان الصغيرة والأوراق والزهور ومخاريط الصنوبر والحصى وأعقاب السجائر وقطع العملة وأشياء أخرى نثرناها على الأرض. وخلال أيام تجاهلت الغربان الصغيرة الأشياء غير المأكولة إلى حد كبير، وبحثت بلهفة عما يؤكل. وقد أعطاها الإمساك بالأشياء من خلال اللعب الخبرة بتعلم شؤون بيئتها. وحيث إن الغربان عادة لاتزال تُطْعَم عن طريق آبائها في هذه الفترة، فإنها تملك الوقت لممارسة سلوك يبدو عديم الجدوى في الظاهر، ولن تتضح فوائده إلا في وقت لاحق.



تتحرك الغربان البالغة ـ والتي تمتد المسافة بين جناحيها إلى 1.25 متر وتزن نحو 1.25 كيلوغرام ـ فوق حيوان صادته الذئاب حديثا في «يلوستون ناشونال بارك». ويعتقد المؤلفان أن سلوك اللعب عند صغار الغربان يعلِّمها كيف تتعامل مع لواحم أكبر كثيرا منها في الحجم، وهي التي تعتمد عليها في الكثير من طعامها.

وفي أثناء تعلم الطيور الصغيرة التمييز بين المأكول وغير المأكول، كانت في الوقت نفسه، تزيد وتشكل مهارات التخبئة لديها. فهي في البداية تدس، دون تمييز، بعض الأشياء التي تلفت نظرها وسط أشياء أخرى. وبعد ذلك تدفعها بعيدا جزئيا عن الأنظار في شقوق. وفي غضون شهر أو شهرين تقوم الصغار، التي مازالت لا تعتمد على أنفسها، بتغطية الأشياء التي التقطتها بالحطام. ولأن هذه الصغار عادة ما تخبئ الأشياء أمام إخوتها وآبائها التي ترحل معها بضعة شهور بعد أن تكتسي بالريش، فإن هذه الإخوة غالبا ما تستولي على هذه الأشياء المخبأة. وقد تساءلنا هل يمكن أن تساعدها لعبة تخبئة الأشياء غير المأكولة على اكتساب القدرة على توقع سلوك الآخرين، بحيث يمكنها النجاح في إخفاء عناصر طعامها القيم والدفاع عنه فيما بعد.

وإحدى المشكلات في اختبارات ما إذا

(*) Playing with and Hiding Food



كانت الخبرة المبكرة تؤثر في النهاية في سلوك الطيور البالغة هي أنه من الصعب مراقبة الخبرة التي قد يمتلكها طائر معين إلا أننا لاحظنا أن الطيور أيضا راقبتنا واستخرجت خبايا الطعام التي نحن - آباؤها البدلاء ورفاقها - أخفيناها عنها ونحن نستطيع التحكم في سلوكنا! ولعمل تجربة قمنا بتعيين أحد الأفراد لصا كان يقوم دائما بسرقة الأشياء الخبيئة التي كانت الطيور الصغيرة تخفيها فيما يبدو أنه لعب. في حين كان شخص آخر يفحص بشكل مطرد الأشياء التي تخفيها الطيور، ولكنه لم يكن يحصل قط على شيء منها. وفي موقف الاختبار زودنا الغربان التي أصبحت حينئذ أكثر نضجا بطعام وليس بأشياء غير مأكولة وفي هذه المرة وقف الفردان - اللص وغير اللص - وراقبا سلوك الطيور دون تدخل.

في مواجهة اللص المحتمل، انتظرت الغربان - على نحو ذي دلالة - بعض الوقت قبل أن تخبئ طعامها (كما لو كانت تنتظر وقتا لا يكون فيه اللص ناظرا إليها) وقد استردت الخبايا التي خبأتها. عندما كان ذلك الرجل يمشي بالقرب منها. وعلى العكس، لم يكن وجود الفرد الأمين الذي لم يسبق له سرقة الأشياء المخبأة يسبب تأخيرا في تخزين الطعام، كما أن الطيور تجاهلته عندما اقترب من أحد مخابئها. وهكذا لم توضح هذه التجربة فقط أن الطيور تحسن مهاراتها في تخبئة الطعام بعد خبرتها مع الآخرين الذين يعيرون على خباياها، ولكنها أيضا تميز بين الأفراد (في هذه الحالة من البشر).

تمييز «العارفين»^(*)

تغتذي الغربان البرية في الحقول عادة في مجموعات كبيرة كما سبق أن وصفنا، وهي تقضي معظم أوقاتها مشغولة في تخبئة الطعام لاستخدامه فيما بعد. وفي هذا الوقت يكون من المستحيل تقريبا لطائر بمفرده أن يبعد كل طائر آخر يتجول قرب واحد من عشرات مخابئ تلك الغربان. على أن الغربان اليافعة تقلل إلى حد كبير من احتمال وجود منافسين يرونها وهي تصنع مخابئها أو اضطرارها لمطاردة الآخرين الذين يمكن أن يكونوا مغيرين محتملين، وذلك ببعثرة مؤنها القيمة على مساحة عدة كيلومترات مربعة. إلا أنه في حدود قفص حفظ الطيور التجريبي، فغالبا لا يتمكن أحد الأفراد من الإفلات من عيون الغربان المنافسة المراقبة. ويعطينا هذا الموقف الفرصة لأن نحدد تجريبيا ما إذا كانت الطيور قادرة على التمييز بين الغربان المنافسة اعتمادا على ما يُحتمل أن تعرفه عن هذه الغربان، تماما كما ميزت من قبل بين بشر مختلفين.

وفي هذه السلسلة من الاختبارات استفدنا من معرفتنا بأن الغربان تميز بعضها من بعض (وكذلك بين آخرين من نوع آخر - نحن بالتحديد) كأفراد. لقد أنتجنا طيورا «عارفة» - تلك التي راقبت مواقع خبايا طائر معين في مقابل «غير العارفة» وهي تلك التي لم تلحظ مواقع الخبايا. ثم زاوجنا بين صانع الخبيئة وتلك الأفراد المنافسة المختلفة، فيما يشبه كثيرا ما فعلناه في تجارب إيضاح استجابات الطيور الصغيرة للصوص وغير اللصوص، إلا أن بناء التجربة في هذه الحالة استدعى تحويرا في مربى الطيور

(*) Discriminatin "Knowers"



لقد خصصنا جزءا كبيرا من المربى كساحة لعمل الخبايا، وفصلنا جزءا أصغر من هذه المساحة بحائط معتم وصنعنا في الجدار نافذة صغيرة للإطلال من خلالها. ووضعنا مجثما للطائر أمامها ليحط عليه، وينظر من خلال حاجز سلكي لمراقبة الطائر الصانع للخبيئة في الجزء الرئيسي وبجانب وحدة المشاهدة هذه جهزنا وحدة مماثلة لطائر آخر. ولكننا في هذه الحالة أسدلنا ستارا على نافذة الرؤية وهكذا كان متاحا لكلا الطائرين الاستماع إلى الطائر الصانع للخبيئة، ولكن أحدهما فقط كان لديه نافذة للرؤية.

وسوف يُسمح للطائرين في الوحدتين الصغيرتين (في خلال خمس دقائق) بالانتقال إلى ساحة الخبايا من أجل البحث عن الطعام. وبهذا كان عندهما الدافع لمراقبة الطائر الخابئ وبكل تأكيد. كان طبيعيا أن يجثم الطائر العارف لمحاولة مراقبة صانع الخبايا. في حين أن الطائر غير العارف في الحجرة ذات الستارة يحاول رفع الستارة للمراقبة (وقد وجدنا أنه يجب علينا أن نثبت الستارة بحيث لا يمكن رفعها). وبعد أن قام طائر الخبايا بصنع ثلاث خبايا أبعدناه عن الساحة الكبرى، وبعد خمس دقائق عدنا به لكي يستخرج مخزوناته المخبأة. وقد سمح له باستخراج أحدها إما منفردا وإما في وجود الطائر العارف أو الطائر غير العارف (كل من هذين اللصين المحتملين كان في وضع التابع الخاضع بالنسبة إلى طائر الخبايا حتى لا يُحبطا استجاباته في الدفاع عن المؤن)

وتقوم الطيور الخابئة، نموذجيا، باستعادة طعامها عندما تبدو السرقة وشيكة الحدوث. وفي الحقيقة أوضحت التجارب أن الخابئات استعادت من خباياها مقدارا أكبر بقدر ذي دلالة عندما زاوجناها بالطيور العارفة عما لو زاوجناها بطيور غير عارفة أو كانت بمفردها. وإضافة إلى ذلك، إذا ما أصبح طائر عارف على بعد مترين من الغذاء المموه عمد صانع الخبيئة إلى مطاردته وإبعاده، في حين أنه كان يتجاهل الطيور غير العارفة. لقد خمنا أن الطيور الخابئة تذكر أي الطيور قد راقبتها عند عمل خبيئة معينة، ثم قامت فيما بعد بتمييزها والاحتراس منها كما لو كانت تعزو المعرفة إلى الطيور التي راقبتها. ومن الواضح أنها كانت تتوقع سلفا نوايا الطائر الذي راقبها، ومن ثم تأخذ حذرها من سلوكه المغير المتوقع. ولكن الطيور العارفة أيضا كانت تأخذ حذرها من السلوك الدفاعي للطيور الخابئة؛ فهي لم تكن تذهب مباشرة إلى الخبايا في وجودها، ولكنها كانت تنتظر حتى يصبح الطائر الخابئ بعيدا إلى حد معقول. وتؤيد نتائج هذه التجارب مقدرة الغراب على نسبة المعرفة إلى من يعرفها، وتوقُّع رد الفعل.

وفي شكل آخر للتجربة نفسها حاولنا اختبار احتمال أن الطيور التي بدا أنها عارفة كانت تعطي دون قصد إلماحات خفية تستطيع الطيور المدافعة قراءتها، إلا أن الطيور المدافعة كانت تعرف حقا أن الطيور العارفة قد رأتها. ولذا فقد استخدمنا شخصا، كان يقف جانبا في هدوء، كي يصنع الخبايا. وكما توقعنا من نتائج التجارب الأولى اندفعت الطيور العارفة إلى سرقة الخبايا التي من صنع الإنسان إذا كانت بصحبة عارف آخر. وعلى العكس من ذلك، إذا ما كانت بصحبة منافس مسيطر غير عارف (ويمكنه أن يهاجم المغير للحصول على الخبيئة) فإنها كانت تؤخر، عشر مرات في المتوسط، مدة الانتظار قبل أن تقترب من الخبيئة، مترقبة حين يكون الغراب المسيطر مشغولا على مبعدة. وهذه النتائج لا تستبعد تماما احتمال أن الطيور العارفة كانت تعطي بعض الإلماحات الخفية غير المعروفة والتي كانت الطيور المغيرة تستخدمها. ولكن إعطاء هذه الإلماحات أمر غير محتمل وتشير النتائج بقوة إلى أن الطيور كانت تنخرط في سلوك معقد يعتمد لدرجة مدهشة على القدرة على تفسير أو توقع أفعال الآخرين.

فيم تفكر الغربان؟[*]

إن دراسة الحالة الذهنية للحيوانات - التي لا تستطيع أن تعبر عن أفكارها لنا - عمل تكتنفه الصعاب. والواقع نحن لا نعرف، وربما لن نستطيع أبدا أن نعرف، ماذا يجري في ذهن حيوان آخر أو حتى أفراد آخرين من نوعنا نفسه. إلا أن لجوءنا إلى **شفْرَة أوكام**[1] Occam's razor وقبول أبسط تفسير - كما هو من تقاليد العلم - يمكننا أن نستنتج أن تجاربنا تمدنا بتأكيد ثابت بأن الغربان تستخدم نوعا من **التمثيل العقلي**[2] لتحكم مسار أفعالها. إن نتائج

(*) What Are Ravens Thinking ?

(1) المبدأ المنسوب إلى الفيلسوف William Occam (المتوفى نحو عام 1349) والذي يقضي بأن الأمور ينبغي ألا تُعقد بغير ضرورة

(2) mental representation



تظهر القدرةُ على التمييز بين الأفراد في تجربة تشمل تخبئة الطعام. لقد أوجد المؤلفان طيورا «عارفة» (مثل ذلك الذي في أسفل المؤطر الأول) تستطيع مراقبة موقع خبيئة يصنعها طائر آخر، وطيورا «غير عارفة» لا تستطيع أن ترى موقع الخبيئة وعند وضع العارف وغير العارف في منطقة الخبيئة (المؤطر الثاني) فإن صانع الخبيئة تعرَّف الطائر العارف وعزا إليه المعرفة. وتصدى لمحاولات الاقتراب من الخبيئة. في حين أنه تجاهل غير العارف حتى عندما اقترب هذا من الطعام المخبأ. [في التجربة الواقعية وضع كل من الطائرين (العارف وغير العارف) على حدة في منطقة الخبيئة، ولم تستخدم شرائط الأرجل الملونة. فهي أضيفت في الرسم لتساعد القارئ على تمييز الطيور].

تجارب جذب الحبل تدل على استخدام المنطق، كما أن خطط السرقة وتلك المضادة لها تدل على أن الغربان تحكم على منافسيها على أساس تذكر ما كانت ملتفتة إليه، وهي عندئذ تعزو إلى منافسيها القدرة على أن تعرف، ثم هي تدمج هذه المعرفة مع مرتبة السيادة في قرارات استراتيجية لصنع الخبايا واستعادتها.

إن التعلم يحدث ولكنه لا يفسر وحده كل السلوك الملاحظ، ذلك أن السلوك يحدث بسرعة جدا، في الحال تقريبا، بدون أية محاولات وأخطاء. ونحن نظن أن الطيور تبدأ من سلوك ذي إطار ذاتي مبرمج سلفا في سلوك يشبه اللعب، وهذا يولد الخبرة اللازمة للتعلم. وقد يترجم التعلم فيما بعد إلى إدراك واعٍ، بمعنى القدرة على استخدام المنطق، بحيث يكون نافعا في السياق غير المتوقع إلى حد بعيد في وسط اجتماعي فيه منافسون ومفترسون، وبحيث يمكن أن يُنقل إلى أي سياق آخر جديد، من جذب الطعام المثبت بخيط إلى أعلى.

ونحن لا ندري مدى غرابة هذا النوع من القدرة عند الغربان في الكائنات غير البشرية. ولكننا نظن، رغم احتمال كونه غير نادر، أنه محصور بصفة عامة في أنواع معينة من الأعمال، لأن الغرائز وميول التعلم المتعلقة بالموضوع، والمعدلة وفقا لبيئة الحيوان، تتباين تباينا واسعا. على أن الأمر قد يكون أكثر عمومية لدى الغربان عما هو في معظم الحالات الأخرى. ونحن نفكر على هذا النحو لأنه لا يوجد طائر آخر نعرفه مولع باللعب مثل الغراب، ومن ثم فهو معرّض إلى هذا التنوع من الاحتمالات. وقد تكون هذه الميول هي التي سمحت له بأن يصبح أكثر الطيور انتشارا طبيعيا في العالم، حيث إنه يقطن القارات نفسها التي يعيش فيها البشر، وهو متواتم مع العدد الكبير نفسه من البيئات المتنوعة ■

المؤلفان

Bernd Heinrich - Thomas Bugnyar

يشتركان في إعجابهما بالقدرات الذهنية للغربان. وقد درسا هذه الطيور معا عندما كان <بكنيار> باحثا مشاركا في جامعة ڤيرمونت. حيث كان <هاينريش> أستاذا للبيولوجيا منذ عام 1980 وقد حصل <هاينريش> على الدكتوراه من جامعة كاليفورنيا، وأمضى عشر سنوات في قسم علم الحشرات بالكلية الجامعية في بيركلي قبل انتقاله إلى ڤيرمونت وهو مؤلف لعدد من الكتب المشهورة، منها Ravens in Winter *(الغربان في الشتاء). الناشر* Simon and Schuster, 1981 *و* Mind of the Raven *(عقل الغراب). الناشر* Harper and Collins, 1999 *الذي يعاد نشره هذا الصيف (2007). وهذه المقالة هي السابعة في* Scientific American *أما <بكنيار> فقد حصل على الدكتوراه من جامعة ڤيينا عن دراسة أجراها على الغربان في محطة كنراد لورنتز البحثية في النمسا وهو الآن محاضر في كلية علم النفس في جامعة سانت أندروز باسكتلندا.*

مراجع للاستزادة

Ravens, *Corvus corax*, Differentiate between Knowledgeable and Ignorant Competitors. Thomas Bugnyar and Bernd Heinrich in *Proceedings of the Royal Society London*, Series B, Vol. 272, No. 1573, pages 1641–1646; August 22, 2005.

Testing Problem Solving in Ravens: String-Pulling to Reach Food. Bernd Heinrich and Thomas Bugnyar in *Ethology*, Vol. 111, No. 10, pages 962–976; October 2005.

Pilfering Ravens, *Corvus corax*, Adjust Their Behaviour to Social Context and Identity of Competitors. Thomas Bugnyar and Bernd Heinrich in *Animal Cognition*, Vol. 9, No. 4, pages 369–376; October 2006.

Scientific American, April 2007

كشف الغموض حول التخدير(*)

ستؤدي معرفة الأسباب التي تجعل أدوية التخدير الحالية قوية جدا وخطرة أحيانا، إلى إنتاج جيل جديد من الأدوية الأكثر أمانا وبدون تأثيرات جانبية غير مرغوبة.

<B. A. أورسر>

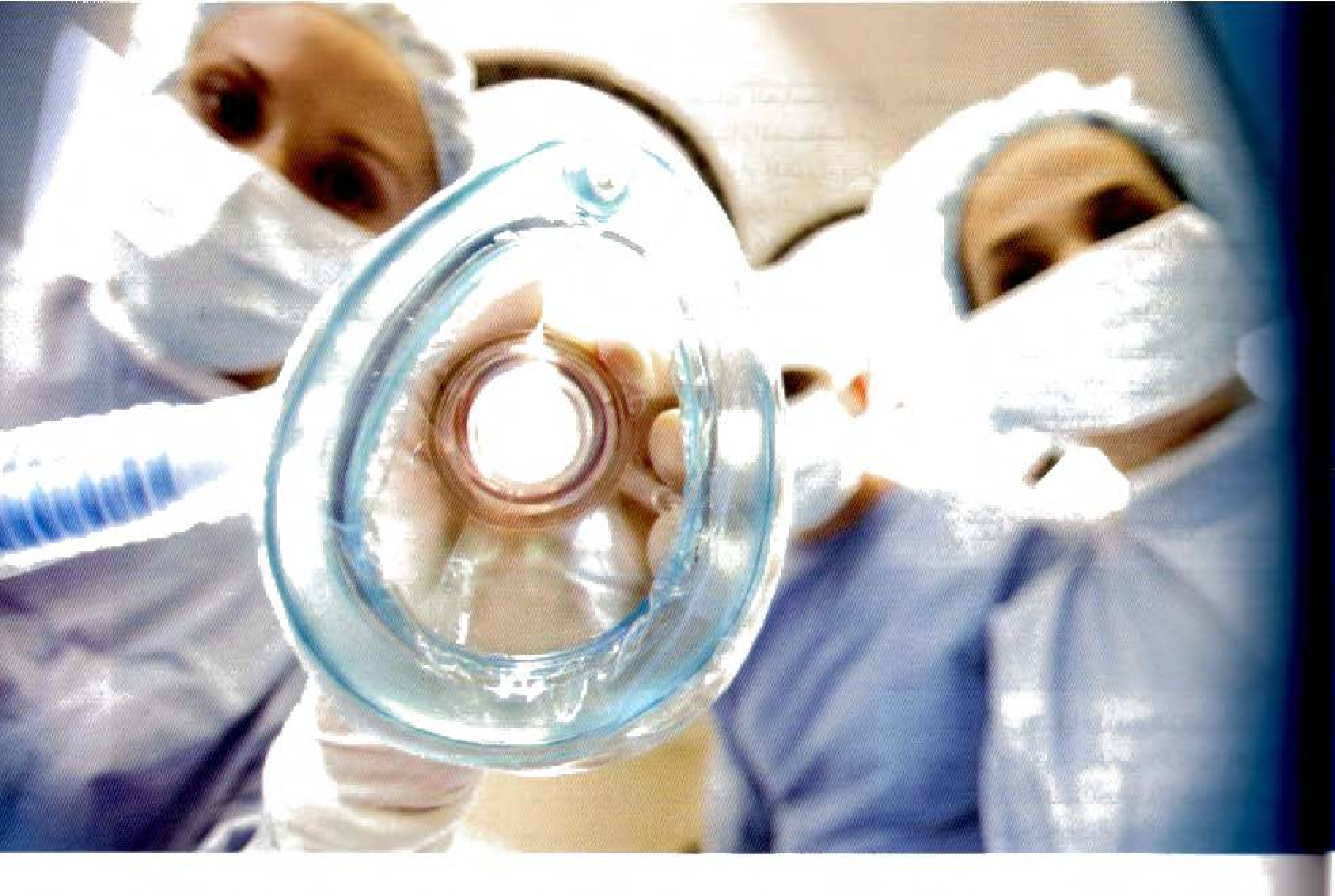
صدر هذا العام فيلم من إنتاج هوليوود يركز على شاب يصحو من التخدير أثناء خضوعه لجراحة قلب مفتوح. ولكنه حينها لم يكن قادرا على أن يتحرك أو يصرخ. ومن دون شك فإن حبكة الفيلم سوف تأخذ عدة تحولات بدءا من تلك النقطة. ولكن للأسف، فإن أحداث بداية الفيلم لا تُفسر منطقيا أحداث نهايته. فحالات الصحو أو الإدراك أثناء إجراء العمليات الجراحية تحت التخدير العام تسجل بمعدل حالة واحدة إلى اثنتين لكل 1000 مريض. وفي الحقيقة، فإن هذه الوقائع تكون عادة خفيفة وعموما لا تتشارك مع الألم أو الشدة. ولكنها تسلط الضوء على واحد من الأسباب العديدة التي تجعل حتى الجيل الأحدث من المواد المخدرة يفتقر إلى بعض الخاصيات المرغوب فيها. وبالفعل، فعلى الرغم من تطور اختصاص علم التخدير إلى فن معقد، فإن الفهم العلمي لكيفية عمل المواد المخدرة وكيف نجعلها أفضل قد بقي متأخرا مقارنة بالتطور الذي حدث في أغلبية الأدوية الأخرى.

وفي الواقع، إن العديد من أدوية التخدير الحديثة يتشارك في الخاصيات البنيوية والتأثيرات السريرية مع **الإيثر** ether الذي كان تطبيقه كمخدر قد تم توضيحه بنجاح وعلنيا من قبل طبيب الأسنان <W. مورتون> عام 1846 في بوسطن. ومنذ ذلك الحين اتسع استخدام التخدير العام إلى 40 مليون مريض في أمريكا الشمالية لوحدها. هذا وإن التقدم في العناية التخديرية منذ أيام <مورتون> قد أتى على نحو أساسي من أجهزة إعطاء الأدوية المعقدة واستراتيجيات تدبير المخاطر والتأثيرات الجانبية للتخدير.

إن أدوية التخدير العام هي أكثر الأدوية المستخدمة في الطب تثبيطا للجهاز العصبي، وهي تؤثر حتى في تنظيم التنفس ووظيفة القلب. ونتيجة لذلك، يكون لهذه الأدوية هامش ضيق من الأمان، وهو يعني الفرق بين الجرعة العلاجية والجرعة السمية أو حتى القاتلة، وهذا هو السبب الذي يدفع إلى إعطاء الأشخاص الذين تكون وظيفة الرئة أو القلب والأوعية عندهم غير مستقرة أصلا ـ مثل ضحايا الرضوض الخاضعين للعمليات الإسعافية أو المرضى أثناء جراحة القلب ـ جرعةً أخف من التخدير، مما يجعلهم معرضين لحالات من الصحو أثناء العمليات كما هي الحال في الفيلم المذكور.

وعلى الرغم من أن التطور الجذري الذي طرأ على العناية بالمرضى تحت التخدير العام، قد أرسى الأساس لعمليات معقدة كنقل الأعضاء، وجراحة القلب، فإن التأثيرات المثبطة للجهاز العصبي لهذه الأدوية تجعلها أكثر احتمالا لأن تسبب الوفاة خلال العملية من الإجراء الجراحي نفسه. ولأن الوفيات المتعلقة بالتخدير قد توقفت عند نسبة مريض واحد من أصل 1300 مريض في السنوات الخمس عشرة الماضية، فإن أطباء التخدير قد وصلوا إلى الحد الأقصى من القدرة على إعطاء هذه السموم على نحو آمن. وعلى كل فإن التأثيرات الجانبية الشديدة ـ والتي تراوح بين عدم التحكم في الطريق الهوائي وبين مشكلات الذاكرة والمشكلات **الاستعرافية** congnitive بعد التخدير العام ـ قد تنشأ أيضا من التأثيرات الواسعة ولكن غير المفهومة جيدا لأدوية التخدير في الجهاز العصبي المركزي.

(*) LIFTING THE FOG AROUND ANESTHESIA



يجب أن يكون العلم قادرا على تقديم المزيد. وإن بحثا جديدا قد يبدأ لمعرفة قدرة العلم على فعل ذلك.

فجميع أدوية التخدير المستخدمة اليوم كانت قد طورت تجريبيا، أي إنها اختبرت في قدرتها على إحداث التأثيرات المرغوب فيها والتي توافق الحالة التخديرية. إن **فاعليات**(1) التخدير الأساسية هي **التركين** sedation والغياب عن الوعي (ويسمى أحيانا **التنويم** hypnosis) **وعدم التحرك** immobility وغياب الألم (**التسكين** analgesia) وفقدان الذاكرة (**النساوة** amnesia) أثناء فترة التخدير. ومن خلال دراسة الآليات التي تحقق عبرها أدوية التخدير هذه الأهداف، فإن عدة مجموعات بحثية بما فيها مجموعتي في جامعة تورونتو شرعت باختبار هذه التأثيرات كل على حدة. وتظهر دراسات هذه المجموعات أن فعالية هذه الأدوية القوية تتجه نحو مجموعة معينة من خلايا الجهاز العصبي، فيحدث التأثيرُ في كل مجموعة من الخلايا إحدى فاعليات التخدير المذكورة.

وإن تزودنا بهذه المعرفة سوف يشجعنا على أن ننتقل أخيرا إلى ما بعد عصر الإيثر، بحيث نطور جيلا جديدا من الأدوية ذات النوعية العالية والتي تستخدم بالمشاركة مع بعضها لنحصل على النتائج المرغوب فيها من دون مخاطر. إضافة إلى ذلك فإن هذا البحث سوف يعطينا أفكارا لتطوير علاجات ذات علاقة بموضوعنا، كالمهدئات والأدوية المساعدة على النوم التي تشارك التخدير في بعض آلياته.

وتقسم أدوية التخدير إلى قسمين رئيسيين، اعتمادا على إعطائها **بالطريق الإنشاقي**(2) (مثل **إيزوفلوراين** isoflurane) أو بالطريق الوريدي (مثل **بروبوفول** propofol). وقد يبدو أن هذه الأدوية تسبب النوم العميق، ولكن من الأصح وصف الحالة التي يحدثها معظم أدوية التخدير الحديثة، بأنها سبات (غيبوبة) محدث بالأدوية. وكخطوة لتوضيح الآليات التي من خلالها تؤثر هذه الأدوية تمت الاستعانة ببعض التقانات، مثل التصوير بالرنين المغنطيسي (MRI) والتصوير الطبقي بضخ البوزيترون (PET). وقد ساعد ذلك على تحديد بعض مناطق الدماغ الخاصة والدارات العصبية المسؤولة عن إحداث العناصر المكونة للحالة التخديرية. فمثلا، إن التأثير التخديري في النخاع (الحبل) الشوكي هو المسؤول عن عدم التحرك المحدث بالأدوية، في حين أننا نجد أن التغيرات المحدثة بالأدوية في **الحصين** hippocampus (وهو جزء من الدماغ له علاقة بتشكيل الذاكرة)، قد تم ربطها بحدوث النساوة. إن ضعف أو تلف الذاكرة المزمن التالي للجراحة، وهو أحد التأثيرات الجانبية غير المرغوب فيها الذي يعانيه بعض المرضى، قد يمثل تأثيرا **ثماليا**(3) للأدوية في الحصين.

ولأن الوعي هو تجربة معقدة مازالت الخواص المحددة لها مثار جدل بين المتخصصين في العلوم العصبية، فإنه ليس من السهل أن نحدد مكانا تشريحيا واحدا نعتبره منشأ الغياب عن الوعي خلال التخدير. وإحدى النظريات الأساسية ببساطة أنه ناتج من «**عدم الربط الاستعرافي**»(4) ـ أي قطع الاتصال بين عدة مناطق دماغية عادة ما تتعاون في العمليات الاستعرافية العليا. وحتى على المستوى الموضعي إذا تخيل المرء مجموعات من الخلايا العصبية وكأنها تشكل خطوطا

(1) properties ج: فاعلية

(2) inhalation

(3) leftover

(4) cognitive unbinding

في شبكة هاتفية ضخمة، فإن تأثير التخدير العام مشابه لما يحدث عند سحب القوابس من مآخذها في **لوحة القواطع (المفاتيح)** switchboard. ويحقق الباحثون تقدما في كشف التفاصيل حول الطرق التي تعمل بوساطتها أدوية التخدير فيزيائيا على الخلايا المفردة في الجهاز العصبي لمنع النقل فيها.

خلال معظم القرن العشرين كان يعتقد على نحو واسع أن أدوية التخدير تعمل على تعطيل المكونات الدسمة لأغشية الخلايا. إن معظم أدوية التخدير هو مركبات حلولة على نحو كبير في الدسم وذات تراكيب كيميائية مختلفة على نحو واسع يراوح بين الغازات الخاملة البسيطة والستيرويدات المعقدة واختلافاتها الفيزيائية والكيميائية الكبيرة قد دعمت الفكرة القائلة إن المواد المخدرة يجب أن تعمل بطريقة ما غير نوعية لتثبط الوظيفة العصبونية. وقد أظهر بحث حديث أن أدوية التخدير تتداخل فعليا مع بروتينات معينة كثيرة التنوع تعرف **بالمستقبلات** receptors، وتوجد على سطح خلايا الأعصاب. وتتضمن عائلات المستقبلات هذه نسخا مختلفة عن بعضها على نحو دقيق، بحيث تميل كل مجموعة إلى أن تكون ذات انتشار مسيطر في مناطق معينة من الجهاز العصبي المركزي. إن وجود **أنماط فرعية** subtypes معينة على مجموعات جزئية من الخلايا فقط سوف يحدد إذًا أي الخلايا سوف تتأثر بالمخدر.

لذلك تركز الدراسات المعاصرة على تحديد أي من الأشياء المختلفة في المستقبلات هي أهداف المواد المخدرة، وعلى فهم كيف تتفاعل الأدوية مع المستقبلات لتغيير وظيفة الخلية وكيف تنتج هذه التغيرات الخلوية «أعراض» التخدير المرغوب فيها وغير المرغوب فيها.

إعطاء إشارات تهدئة[*]

لقد وجدت مجموعات متعددة من بروتينات المستقبلات على سطح العصبونات، ولكن تلك التي تتفعل بالنواقل العصبية الكيميائية قد حازت على معظم الاهتمام في أبحاث التخدير، لأنها تنظم على نحو دقيق الاتصال عبر «خطوط الهاتف» العصبية. وكما يوحي اسمها، فإن جزيئات النواقل العصبية تنقل الرسائل بين العصبونات عند نقاط الاتصال التي تسمى **المشابك** synapses، وهي تقوم بذلك بالانتقال بين ما يسمى العصبون ما قبل المشبك عبر مسافة دقيقة لترتبط بالمستقبلات الموجودة على غشاء العصبون ما بعد المشبك. وعندما تحرض كمية كافية من جزيئات الناقل العصبي المستقبل الملائم، فإن غشاء الخلية العصبية ما بعد المشبك يولد كمونا كهربائيا يسير على طول العصبون إلى العصبون التالي في الشبكة نفسها. إن السيروتونين والگلوتامات والنورإپينفرين والأسيتيل كولين هي نواقل عصبية درست على نحو واسع لدورها في إحداث هذه الإشارات عبر الجهاز العصبي المركزي.

وفي مبحث التخدير ناقل عصبي آخر يسمى **كاما أمينو حمض البيوتيريك** GABA[1]، وقد حاز أغلب الاهتمام بسبب قدرته على إيقاف الاتصال العصبي. وGABA هو ناقل عصبي مثبط: إذ يساعد على الحفاظ على توازن كلي في الجهاز العصبي بإحداث تخامد في قدرة العصبونات على الاستجابة للرسائل المهيجة من الخلايا الأخرى. لذلك السبب كان التفكير بأن الناقل GABA يؤدي دورا مركزيا في تأثيرات أدوية التخدير.

إن معظم المستقبلات على الخلايا ما بعد المشبك والتي تتفاعل مع الناقل GABA ينتمي إلى مجموعة تسمى ligand-gated ion channels، أو القنوات الأيونية (الشاردية) التي تفتح أبوابها عن طريق الربيطة. فعندما يرتبط الناقل GABA (الربيطة) بالمستقبل، يتغير شكل هذا المستقبل، مما يؤدي إلى انفتاح القناة التي تدخل الأيونات المشحونة سلبيا إلى الخلية. وبعد ذلك فإن زيادة تركيز الأيونات السلبية يولد كمونا سلبيا، مما يمنع الخلية من التمكن من توليد نبضة كهربائية استثارية.

والمستقبل الذي يعتقد أنه الهدف الرئيسي للمواد المخدرة هو الناقل GABA من النمط الفرعي A أو $GABA_A$، وهو نفسه المسؤول عن التأثيرات العلاجية لأصناف من المركنات والمنومات وبالذات البنزوديازيپينات benzodiazepines، مثل الڤاليوم valium. وإن تراكيز منخفضة جدا من البنزوديازيپينات تزيد وظيفة المستقبل $GABA_A$، وهذه علاقة من السهل إثباتها، لأن الأدوية المعاكسة التي تعيق ارتباط البنزوديازبين بالمستقبل $GABA_A$ تزيل بسرعة تأثيرات هذه الأدوية.

ولسوء الحظ لا يوجد مثل هذه الأدوية المعاكسة لأدوية التخدير العام لكي تزودنا بمعلومات عن المستقبلات الهدف. وعلى أي حال فإن دراسات تستخدم أجزاء من مناطق مختلفة من الدماغ والخلايا العصبية ومأخوذة من نسج مزروعة، قد أظهرت أن كلا من المواد

إن تأثير التخدير مشابهة لسحب القوابس من مآخذها في لوحة القواطع.

نظرة إجمالية/ تحسين أدوية التخدير العام

- إن أدوية التخدير العام هي مثبطات قوية للجهاز العصبي المركزي، ولكن مازال من غير المفهوم جيدا كيف تُحدث هذه الأدوية تأثيراتها الواسعة في الدماغ والجسم.
- تكشف الأبحاث التي تتناول الآليات التي تعمل وفقها أدوية التخدير العام، أن جميع الجوانب المشكلة للحالة التخديرية يمكن أن تعزى إلى مجموعات مختلفة من الخلايا العصبية. وتتميز هذه المجموعات من بعضها عن طريق بروتينات سطحية نوعية تتفاعل مع هذه الأدوية.
- قد يكون من الممكن إنتاج أدوية جديدة تستهدف هذه البروتينات، ومن ثم أنماطا محددة من الخلايا، بحيث نكون قادرين على الحصول انتقائيا على التأثيرات المرغوب فيها لأدوية التخدير - إضافة إلى المركنات ومساعدات النوم وأدوية الذاكرة - مع مخاطر وتأثيرات جانبية أقل.

(*) Signaling Silence
(1) gammaaminobutyric acid

الخدرة الإنشاقية والوريدية تطيل من فترة التيارات الكهربائية ما بعد المشبكية التي تولد بوساطة المستقبلات $GABA_A$.

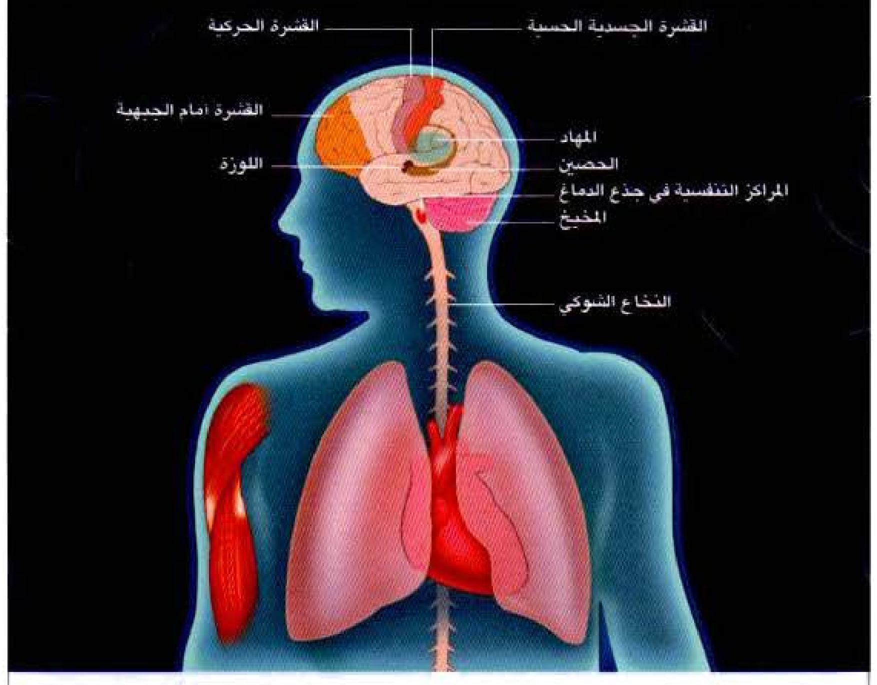
ويعتقد أن المواد المخدرة تزيد من وظيفة المستقبلات $GABA_A$ عن طريق تفاعلات ترتبط من خلالها بتجاويف منفصلة، أو عن طريق الارتباط بحموض أمينية محددة ضمن المستقبلات نفسها وبإطالة فترة انفتاح القنوات، مما يزيد التأثيرات المثبطة لجزيئات $GABA_A$ المرتبطة بالمستقبل. وبتركيزات عالية بالقدر الكافي، فإن أدوية التخدير وحدها قد تحفز مستقبلات الناقل GABA.

إن معظم الخلايا العصبية يحتوي على المستقبلات $GABA_A$، ولذلك فإن العلماء لم يستطيعوا تفسير كيف يمكن للمواد المخدرة أن تؤثر انتقائيا في مناطق مختلفة من الدماغ، وقد استمر ذلك حتى ظهور الاكتشافات المهمة خلال العقد الماضي بأن المستقبلات $GABA_A$ ليس لديها جميعها الخواص نفسها من النواحي الشكلية والفارماكولوجية. فالمستقبلات $GABA_A$ هي معقد بروتيني مكون من خمس وحدات فرعية، حيث يمكن أن تمتزج وترتبط بعدة تراكيب. وعلى الأقل يوجد 19 نوعا من وحدات فرعية $GABA_A$ في الثدييات، ومعظمها لديه عدة **أنماط فرعية** subtypes، ولذلك فإن العدد الممكن للتراكيب مرتفع جدا. إن الوحدات الفرعية غالبا ما ترى في العصبونات، وهي تحدد على أنها ألفا وبيتا وكاما. وفي الحقيقة، يتكون معظم المستقبلات $GABA_A$ من وحدتين فرعيتين ألفا واثنتين بيتا وكاما واحدة، ولكنه أحيانا تحل وحدة دلتا أو إبسيلون محل كاما بحسب المنطقة من الدماغ. ولكن الاكتشاف الأهم هو أن التركيب المكون من الوحدات الفرعية يغير على نحو لافت الخواص الفارماكولوجية: إن وجود فرق في وحدة فرعية واحدة في تركيب المستقبل $GABA_A$ يحدد إمكانية الاستجابة لمادة مخدرة معينة وكيفيتها.

ولأن أنماطا فرعية مختلفة من المستقبلات $GABA_A$ تسيطر في مناطق مختلفة من الدماغ، فإن الباحثين صاروا حاليا قادرين على نحو متزايد على أن يفسروا بدقة كيف تستطيع المواد المخدرة أن

التأثير الواسع للتخدير(*)

إن كلا من التأثيرات المرغوب فيها وغير المرغوب فيها للأدوية المخدرة تنشأ عن قدرتها على تثبيط الفعالية العصبية في الجهاز العصبي المركزي، الذي يضم الدماغ والنخاع (الحبل) الشوكي ويتحكم في التنفس ومعدل ضربات القلب. وتحاول الأبحاث الحالية أن تحدد بدقة المناطق والتراكيب العصبية التي يؤدي التغيير في وظيفتها إلى إحداث كل من العناصر المكونة للحالة التخديرية.



فاعليات الحالة التخديرية(**)

التركين sedation

نقص الاستثارة، وتتظاهر بالزيادة في فترة الاستجابة والكلام المبهم ونقص الحركة. تنقص الفعالية العصبية عبر مناطق قشرة الدماغ.

الغياب عن الوعي unconsciousness (ويسمى أيضا **التنويم hypnosis**)

نقص في الإدراك والاستجابة للمنبهات. يكون التثبيط القشري أكثر منه في التركين. كذلك يهبط النشاط على نحو ملحوظ في **المهاد** thalamus، وهو منطقة مهمة لتكامل العمليات الدماغية.

عدم التحرك immobility

عدم وجود حركة كاستجابة للمنبهات، كالهز والحرارة. إن تثبيط الفعالية العصبية للنخاع الشوكي هو السبب الرئيسي لهذا الشلل المؤقت، مع أن المخيخ (وهو منطقة تحكم في الحركة) قد يسهم في ذلك.

النساوة amnesia

عدم تذكر فترة التخدير. يبدي العديد من تراكيب الدماغ تغيرات محدثة بالمواد المخدرة، بما فيها الحصين، اللوزة، القشرة أمام الجبهية، القشرة الحركية والحسية.

فاعليات أخرى

إرخاء عضلي وزوال الألم (**التسكين** analgesia) ويتم أحيانا تضمينهما عند تحديد الحالة التخديرية، ويعزيان إلى تثبيط فعالية النخاع الشوكي.

(*) Anesthesa's Broad Impact
(**) Components of the Anesthetized State

تنتج تأثيرات محددة في مناطق مختلفة من الجهاز العصبي المركزي عن طريق تفحص كيف تتفاعل الأدوية في هذه المناطق مع مستقبلاتها الهدف.

نحو تحديد أدق لأهدافنا[**]

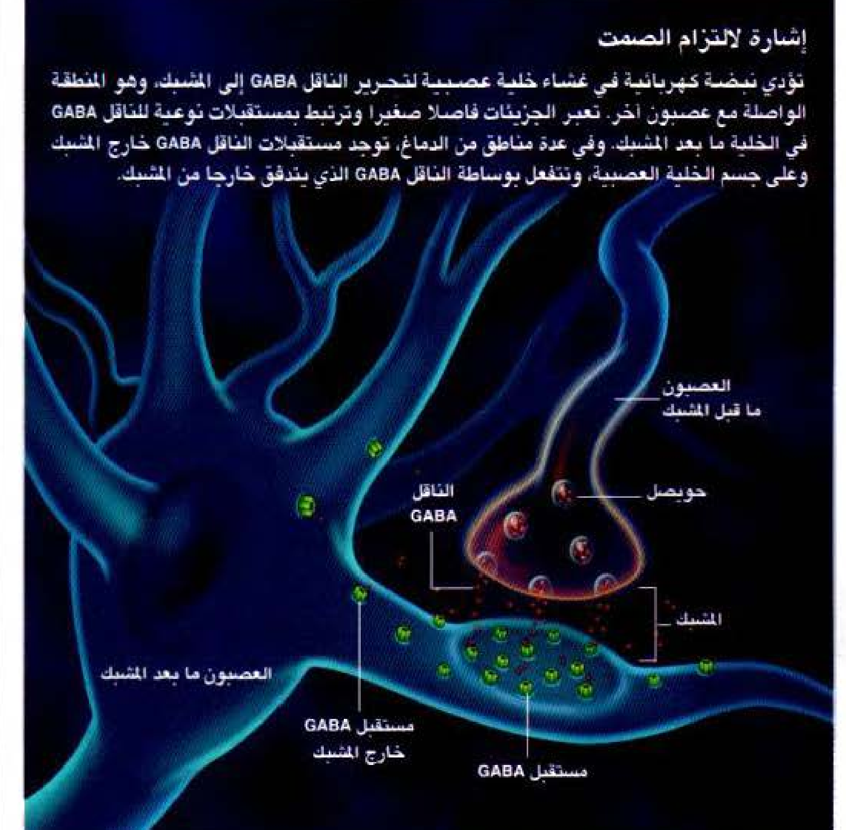
قررت وزملائي أن نركز على تحديد المستقبلات التي تؤثر في الخواص المعطلة للذاكرة، فلذلك ركزنا دراساتنا على المستقبلات $GABA_A$ في الحصين. ومن المعروف أن المواد المخدرة تسبب النساوة في جرعات أخفض بكثير من تلك الضرورية للغياب عن الوعي وعدم التحرك، وهو تأثير معروف بالنسبة إلى أطباء التخدير مثلا، لأن المرضى نادرا ما يتذكرون محادثاتهم في الفترة ما قبل التخدير وبعد الصحو منه مباشرة. ومع ذلك ولأسباب غير معروفة يعاني بعض المرضى تذكرا غير متوقع لأحداث جرت خلال الجراحة نفسها. وهكذا، فعن طريق إيجاد المستقبلات الهدف الصحيحة لتأثيرات التخدير المسببة للنساوة قد يصبح من الممكن أن نحدد المرضى الذين لديهم خطورة الصحو أثناء العمليات، لأن لديهم نقصا في هذه المستقبلات. وكبديل لذلك، يمكن تطوير استراتيجيات دوائية لمنع حدوث الصحو أو على الأقل منع تذكر حدوثه.

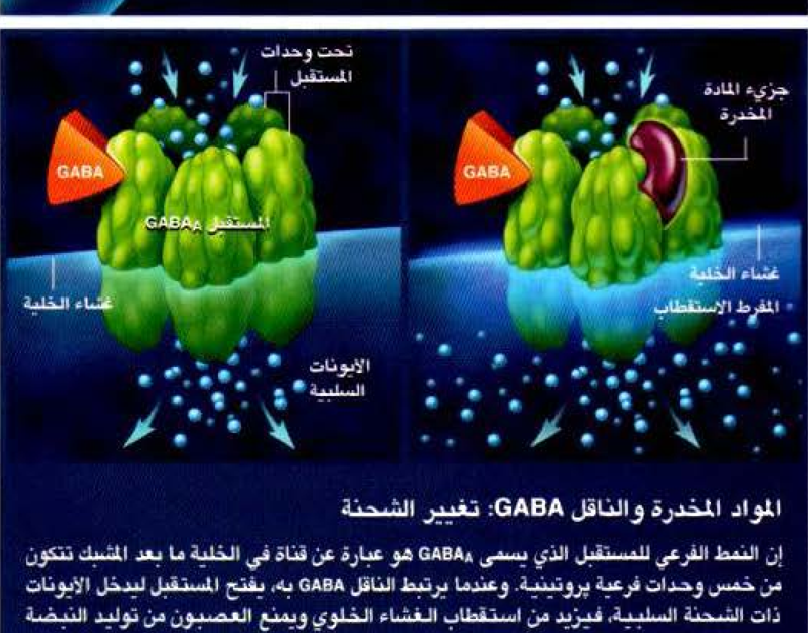
لقد كان من المدهش خلال عملنا أن نجد أنه حتى المستقبلات خارج المشبك يمكن أن يكون لها دور في عمل المواد المخدرة. إذا كان المشبك يعمل كلوحة قواطع بين خليتين، فإن المستقبلات في محيط المشبك أو المنتشرة على طول جسم الخلية العصبية يمكن أن نتصورها كقواطع موضوعة على الخط الهاتفي نفسه. إن المستقبلات $GABA_A$ هذه، تفعل حتى بتراكيز منخفضة جدا من مادة GABA التي تكون موجودة طبيعيا في الحيّز الخارج الخلوي أو تتناثر من المشابك المجاورة. وكما يبدو، فإن أعدادا كبيرة من المستقبلات الخارج المشبكية توجد في مناطق معينة من الدماغ، مثل الحصين والمهاد thalamus (وهي منطقة لها علاقة بالوعي وتوليد الألم)، وكذلك مناطق في القشرة والمخيخ.

لقد اكتشفنا مصادفة دور المستقبلات

كبح النقل[*]

لقد وجد أن الأدوية المخدرة تخمد النقل العصبي بطرق منها زيادة تأثيرات الناقل العصبي GABA، وهو جزيء يحمل إشارة تمنع الخلايا العصبية من الإطلاق. ويركز البحث الحالي على الكيفية التي تتفاعل وفقها الأدوية مع مستقبلات الناقل GABA الخلوية لكبح الفعالية العصبية.





المواد المخدرة والناقل GABA: تغيير الشحنة

إن النمط الفرعي للمستقبل الذي يسمى $GABA_A$ هو عبارة عن قناة في الخلية ما بعد المشبك تتكون من خمس وحدات فرعية بروتينية. وعندما يرتبط الناقل GABA به، يفتح المستقبل ليدخل الأيونات ذات الشحنة السلبية، فيزيد من استقطاب الغشاء الخلوي ويمنع العصبون من توليد النبضة الكهربائية (*في اليسار*). ويعتقد أن المواد المخدرة تعمل عن طريق الارتباط بشقوق في المستقبل $GABA_A$ وإطالة مدة فتح القنوات، مما يسبب فرط استقطاب الغشاء الخلوي (*في اليمين*).

(*) Jamming Transmission
(**) Narrowing Down Targets

GABAA الخارج المشبكية كأهداف للأدوية المخدرة بعد محاولاتنا غير الناجحة لبعض الوقت في أن نحدد المستقبلات ما بعد المشبكية الحساسة لتراكيز المواد المخدرة الخفيفة التي تسبب النساوة. وكنا قد بحثنا عن مجموعات المستقبلات ما بعد المشبكية التي تتعدل تآزريا من قبل البروپوفول propofol والميدازولام midazolam، وهما اثنان من الأدوية الأكثر استخداما كمثبطات عصبية، ولم نجد أيا من هذه المستقبلات أيضا. وعلى أي حال، اعتمد عملنا على أخذ تسجيلات للتيارات الكهرفيزيولوجية المولدة في العصبونات الحصينية في النسج المستقبلات $GABA_A$ الخارج المشبكية كانت مختلفة هيكليا على نحو طفيف عن مجموعات المستقبلات ضمن المشبك، من حيث إنها تحوي على نحو رئيسي الوحدة الفرعية alpha-5 التي تفتقدها المستقبلات ما بعد المشبكية عموما. وهذا التغير المفرد بدا أنه السبب في حساسيتها حتى لكميات ضئيلة من أدوية التخدير. لقد كانت هذه النتائج مثيرة لنا، لأن هناك إثباتات متزايدة من علماء العلوم العصبية الذين يعملون على أسئلة بحثية أخرى حول أن المستقبلات $GABA_A$ التي تحوي الوحدة الفرعية alpha-5 لها دور في عمليات الذاكرة المعتمدة على الحصين.

وفي الوقت نفسه توظف مختبرات في أوروبا وأمريكا تقنيات تجريبية لاستكشاف تأثيرات التنويم وعدم التحرك لأدوية التخدير. فمثلا طور <E G> هومانيكس> [من كلية طب بيتسبرگ] فئرانا تفتقد للوحدة الفرعية delta من المستقبلات $GABA_A$ التي من المعروف أنها تمنح حساسية عالية **للستيرويدات العصبية** neurosteroids. لقد وجدت مجموعته أن الفئران المفتقدة لدلتا كانت كما هو متوقع أقل حساسية للمخدر ذي الأساس الستيرويدي «ألفاكزالون» alphaxalone في الاختبارات التي تقيس قوة الدواء على إحداث الغياب عن الوعي. ولكن

قد تُطوَّر استراتيجيات دوائية تمنع حدوث الإدراك أو على الأقل تذكره.

المزروعة، ولاحظنا أن التراكيز المحدثة للنساوة قد زادت على نحو مهم من التيارات المنخفضة المدى، التي تولد من قبل المستقبلات $GABA_A$ الخارج المشبكية. وعوضا عن تكوين استجابة عند «لوحة القواطع»، كانت الأدوية تعمل على إحداث طنين سكوني أو مثبِّط في الخط الهاتفي نفسه مسببا التشويش على الاتصال.

ووجدنا أن الدواءين الوريديين إيتوميديت etomidate وبروپوفول وحتى المخدر الإنشاقي إيزوفلورين تزيد مدى التيار بمقدار 35 ضعفا، وذلك بتراكيز أخفض بعدة مرات من تلك الضرورية لإحداث **عدم التحرك** immobility. والباحثون الآخرون بمن فيهم <M. فارانت> و<G .S. بريكلي> وزملاؤهما [في جامعة لندن (UCL)]، قد وصفوا هذا التيار المنخفض حتى بغياب أدوية التخدير. ولكن ما فاجأ مجموعتنا هو حساسية المستقبلات الخارج المشبكية على نحو مهم لكل من أدوية التخدير الوريدية والإنشاقية، في الوقت الذي لم تسبب التراكيز المنخفضة إلا تغيرات يمكن إهمالها في التيارات ما بعد المشبكية. والدراسات السابقة، مثل دراستنا، قد ركزت على نحو واضح على المجموعة الصحيحة من بروتينات المستقبلات، ولكنها كانت تنظر في الاتجاه الخاطئ.

وأخيرا توصلت تجاربنا إلى أن وهذا يدعم نظريتنا بأن المستقبلات alpha-5 الخارج المشبكية مسؤولة عن تأثيرات الأدوية في الذاكرة. ولكي نثبت نظريتنا أكثر، لجأنا إلى إجراء التجربة على الفئران المعدلة وراثيا والتي لا تمتلك الوحدة الفرعية alpha-5 وعلى الفئران الطبيعية التي تمتلك الوحدات الفرعية هذه. وكما هو متوقع، ففي الفحوص السلوكية كانت الفئران الطبيعية حساسة لجرعات الإيتوميديت المسببة للنساوة، في حين لم تظهر التأثيرات الدوائية في الذاكرة عند الفئران التي ينقصها المستقبل.

ووجدنا أيضا أن فقدان المستقبلات alpha-5 $GABA_A$ ليس له تأثير في أي من نتائج التخدير: التركين، عدم التحرك، التنويم، الاستجابة للمنبه الألمي. فقد كانت نفسها في مجموعتي الفئران. وأظهرت هذه النتائج أن تأثيرات الإيتوميديت في الذاكرة يمكن أن تفصل عن خواص الدواء الأخرى بالاعتماد على الفارماكولوجية الخاصة بوحدات فرعية معينة في المستقبل. وقد أعطتنا هذه التجارب أيضا النموذج الأول عند حيوانات التجربة للاختلافات في المستقبلات التي قد توجد عند البشر ويمكنها أن تشرح بعض حالات المقاومة لقدرة المخدر على إحداث النساوة. إن الدراسات الحالية سوف تحدد فيما إذا كانت أدوية التخدير العام الأخرى تستهدف أيضا المستقبلات alpha-5 $GABA_A$ لتحدث النساوة.

الفئران المعدلة لم يظهر عليها فرق في استجابتها للبروپوفول والإيتوميديت وأدوية التخدير غير الستيرويدية الأخرى عند مقارنتها بمجموعة الشاهد الطبيعية. عموما لا تستخدم أدوية التخدير الستيرويدية حاليا، ولكن هذه النتائج أكدت المبدأ القائل بأن أصنافا مختلفة من أدوية التخدير تستهدف مجموعات فرعية مختلفة من المستقبلات $GABA_A$.

لقد غيرت مثل هذه التجارب الفكرة القديمة التي تقول إنه لكون أدوية التخدير مختلفة فيما بينها كيميائيا، فإنها يجب أن تُحدث تأثيراتها المتعددة بآلية عامة معينة. ويبدو أن التطوير التجريبي للأدوية المخدرة قد عثر على مواد كيميائية تنتج تأثيرات نهائية متشابهة، مع أن كل دواء منها يعطي هذه التأثيرات عن طريق آليات خاصة به.

على سبيل المثال، الإيتوميديت هو المخدر الوحيد في الممارسة السريرية الانتقائي للمستقبلات $GABA_A$ التي تحتوي على وحدات فرعية beta-2 أو beta-3 وليس beta-1. وبالفعل فإن الفروق بين تحت الوحدات beta التي تستجيب للإيتوميديت وتلك التي لا تستجيب، أنها لا تحتوي حتى على تغير في حمض أميني واحد في نقطة معينة في الهيكل المكون لوحدات البروتين الفرعية. وقد طورت شركة الأدوية ميرك Merk فئرانا منقولة الجينات (المورثات) مع

طفرة في موقع الحمض الأميني ضمن الوحدة الفرعية beta-2، ووجدت أن الإيتوميديت كان أقل تأثيرا في إحداث غياب الوعي عند الحيوانات، ولكن تأثيرات عدم التحرك الخاصة بالدواء قد بقيت. ولّد <.> رودولف> [عندما كان في جامعة زيوريخ] فئرانا منقولة الجينات مع الطفرة نفسها في الوحدة الفرعية beta-3، ووجد أنها أزالت على نحو كبير فعالية الإيتوميديت والپروپوفول في إحداث الغياب عن الوعي والتسكين عند الحيوانات. وعلى العكس، فقد تبين أن الألفاكزالون كان له التأثير نفسه في كل من الفئران الطبيعية وتلك التي تحمل الطفرة، مما يشير إلى أن الوحدات الفرعية هذه هي على الأغلب أهداف غير مهمة لهذا الدواء.

وحتى الآن، لم يتحدد ما إذا كانت الطفرات الدقيقة في الوحدات الفرعية للمستقبلات beta-2 و beta-3 تؤثر في الخواص المخدرة للدواء. كما أن مناطق الجهاز العصبي المركزي في الفئران المنقولة الجينات التي تتأثر بالطفرات مازالت مجهولة، مع أن بعض الدلائل تقترح أن المستقبلات $GABA_A$ الخارج المشبكية في المهاد يمكن أن تكون مهمة. وإذا أخذنا هذه الدراسات جميعا وجدناها تؤكد الدور المركزي الذي تؤديه المستقبلات $GABA_A$ في عمل أدوية التخدير. والخطوة القادمة ستكون البدء بترجمة هذه المعرفة المأخوذة من أدوية التخدير العام الحالية إلى أدوية تكون غير عامة.

مرقاب مخطط الكربون

يعرض قياسات ثنائي أكسيد الكربون المزفور للتأكد من كفاية التهوية.

جهاز اعتيان(1) الغاز

يراقب تراكيز الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون والمواد المخدرة الإنشاقية في كل من الهواء المستنشق والمزفور.

المبخرات

تخزن أدوية التخدير الإنشاقية وتعطيها بالتراكيز الدقيقة المطلوبة.

مرقاب إيصال التخدير

أجهزة التحكم في الجريان

وحدة إيصال التخدير

تمزج أدوية التخدير الإنشاقية مع الأكسجين وهواء الغرفة وتتحكم في جريانها. يكشف نظام الإنذار عن أي انفصال في دارة التنفس أو التغيرات في مستوى الأكسجين المستنشق. وأيضا تمتص ثنائي أكسيد الكربون والغازات الإنشاقية المزفورة، فلا تلوث جو غرفة العمليات.

معالجة موائمة للغرض منها(*)

كما بين بحث مجموعتي والمجموعات الأخرى فإن المستقبلات الخارج المشبكية alpha-5 $GABA_A$ في الحصين هي أساسية لتأثيرات الإيتوميديت المحدثة للنساوة، وربما لأدوية التخدير العام الأخرى المستخدمة حاليا. وتقترح هذه النتائج أن الأدوية التي تتجنب أو تستهدف ذلك المستقبل المحدد، بإمكانها أن تحفظ انتقائيا تشكل الذاكرة أو تمحوه بحسب الحاجة.

في الحقيقة، يتم تطوير مثل هذه المركبات لاستخدامات أخرى. إن الأدوية المركنة-المنومة ـ التي لا تعمل على الوحدة الفرعية alpha-5، ومن ثم ليس لها تأثير مشوش للذاكرة كما في البنزوديازيپينات وبعض الحبوب المنومة المعينة ـ هي في المرحلة ما قبل السريرية. وأما الگابوكزادول Gaboxadol ـ وهو الدواء الأول الذي يستهدف انتقائيا المستقبلات $GABA_A$ الخارج المشبكية لزيادة وظيفتها ـ فإن التجارب السريرية عليه تُجرى حاليا. لقد طُوِّر الگابوكزادول في البداية كدواء مضاد للاختلاج، ولكنه يدرس حاليا كدواء محدث للنوم: إنه يستهدف المستقبلات $GABA_A$ المحتوية على الوحدة الفرعية delta والموجودة على نحو رئيسي في المهاد والمخيخ، ولذلك فإنه قد يتجنب التأثير في الذاكرة. إن خاصية حصر الذاكرة الموجودة في المركبات المشابهة والتي تتفاعل مع المستقبلات alpha-5، يمكن أن تكون مفيدة جدا في حالات الجراحة: إذ ستكون من الأدوية المرغوب فيها بشدة، تلك الأدوية التي تحدث النساوة من دون تثبيط التنفس أو منعكسات الطريق الهوائي أو الجهاز القلبي الوعائي. وبالمشاركة مع أدوية التخدير الأخرى يمكن أن يُستخدم دواء مزيل للذاكرة للوقاية من حالات الصحو أثناء العمليات على سبيل المثال. وقد تكون مثل هذه الأدوية مفيدة لوحدها في علاج المرضى الذين يعانون **اضطراب الشدة بعد الرض** post traumatic stress disorder عن طريق تثبيط ذكريات معينة مثيرة للشدة.

إن التعامل مع تأثيرات التخدير في الذاكرة هو مثال واحد على المقاربة الجديدة لعلم التخدير التي سوف تكون ممكنة مع مثل هذه الأدوية التي يجري العمل عليها. ففي العديد من الحالات يكون التثبيط العصبي الواسع والشامل لأدوية التخدير الحالية غير

(*) Tailored Treatment

(1) sampler



ضروري وغير مرغوب فيه. ومع خلطة من المركبات، كل منها يحدث نتيجة واحدة مرغوبا فيها، ستكون النسخة المستقبلية من العناية التخديرية قادرة على جعل المريض يتحدث غير شاعر بالألم عند رد كسر في أحد أطرافه، أو يكون عديم الحركة ومركنا ولكنه واع في أثناء تبديل مفصل الورك لديه. إن هذه المقاربة المتعددة الأدوية تستخدم فعليا على نحو واسع في جوانب أخرى في العناية المتعلقة بالجراحة، وأكثرها في علاج الألم بعد العمليات.

إن التخدير حاليا أكثر أمانا مما مضى، ولكن بكل تأكيد ليس خاليا من الخطورة. ولدينا فرصة كبيرة حاليا لننتقل إلى ما بعد مرحلة الإيثر باتجاه نمط حديث فعلا للعناية التخديرية. ■

Risk Management Tools

المؤلفة

Beverley A. Orser

أستاذة علم التخدير والفيزيولوجيا في جامعة تورونتو وممارسة التخدير في المستشفى الجامعي Sunnybrook Health Sciences Center ورئيسة قسم أبحاث التخدير في كندا. وتركز «أورسر» كونها طبيبة وباحثة، على تحسين سلامة المرضى. وبدراسة الآليات الجزيئية التي تتضمنها أدوية التخدير، فإنها تأمل أن تدفع قدما تطورات العناصر الجديدة والعلاجات المرتبطة بها ليكون التحكم فيها أكثر دقة. وتعمل «أورسر» أيضا مستشارة لشركة الأدوية ميرك، التي طورت مساعد النوم «كابوكزادول».

مراجع للاستزادة

Anesthesia Safety: Model or Myth? Robert S. Lagasse in *Anesthesiology*, Vol. 97, pages 1609–1617; December 2002.

Molecular and Neuronal Substrates for General Anaesthetics. Uwe Rudolph and Bernd Antkowiak in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 5, pages 709–720; September 2004.

Emerging Molecular Mechanisms of General Anesthetic Action. Hugh C. Hemmings et al. in *Trends in Pharmacological Sciences*, Vol. 6, No. 10, pages 503–510; October 2005.

α5GABA$_A$ Receptors Mediate the Amnestic but Not Sedative-Hypnotic Effects of the General Anesthetic Etomidate. Victor Y. Cheng et al. in *Journal of Neuroscience*, Vol. 26, No. 14, pages 3713–3720; April 5, 2006.

Scientific American, June 2007

(*)

منع الانقطاع الشامل للكهرباء

إن شبكة كهرباء أكثر ذكاء وتستجيب بصورة تلقائية للمشكلات الطارئة، يمكنها أن تقلل العدد المتزايد من الانقطاعات الشاملة للكهرباء.

<مسعود أمين> ـ <P. F. شيوي>

(*) PREVENTING BLACKOUTS

كان الرابع عشر من الشهر 2003/8 يوما من الأيام الحارة المعتادة في وسط الغرب الأمريكي. ولكن بعد الثانية عصرا بقليل احتك عدد من خطوط الحمل الكهربائي العالي في شمال أوهايو ببعض الأشجار العالية، مما أدى إلى انقطاع التيار الكهربائي في تلك المنطقة. ومن المعتاد أن يؤدي مثل هذا الاضطراب إلى إطلاق أجهزة الإنذار في مركز التحكم المحلي، حيث يقوم العاملون فيه وبالتعاون مع القائمين على التحكم في المناطق المجاورة، بالعمل على تعديل مسارات الطاقة الكهربائية تفاديا للمنطقة المصابة.

ولكن في ذلك اليوم ونتيجة لعطل في البرامج الحاسوبية المتحكمة في أجهزة الإنذار، لم تنطلق هذه الأجهزة، مما جعل المشغلين المحليين على غير علم بتلك المشكلة. أما العاملون الآخرون الذين كانوا مشغولين بتوجيه كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية إلى مساحات تمتد مئات الأميال عبر أوهايو وميتشيكان وشمال شرق الولايات المتحدة وأونتاريو في كندا، فقد كانوا هم أيضا غير منتبهين لذلك، مما أدى إلى أن تتحمل خطوط الطاقة المحيطة بالمنطقة المصابة كميات من الكهرباء أكبر من القيم الآمنة للتشغيل.

ومما زاد الأمر سوءا أن **مرافق الكهرباء** utilities حينذاك لم تكن تقوم بتوليد القدر الكافي من **الطاقة المفاعلية**(1) reactive power، وهي من خصائص المجالين المغنطيسي والكهربائي وهي التي تدفع التيار خلال أي سلك. ونتيجة لعدم توافر القدر اللازم من الطاقة المفاعلية لدعم المسارات المتغيرة فجائيا للطاقة الكهربائية، فقد انفصلت الخطوط ذات الحمل العالي في الساعة 4:05 بعد الظهر. ونتيجة لذلك تعطلت إحدى محطات التوليد، مما أدى إلى اضطراب في استقرار النظام، ثم انفصال المزيد من الخطوط والمحطات. وقد توالت الأحداث بطريقة أسرع من قدرة المشغلين على التتبع بواسطة أجهزة المراقبة التي يبلغ عمرها عدة عقود والمنتشرة على امتداد الشبكة الكهربائية في معظم أمريكا الشمالية؛ كما كانت الأحداث أسرع من قدرتهم على التحكم. وفي خلال ثماني دقائق انقطع التيار الكهربائي عن 50 مليون شخص في ثماني ولايات أمريكية ومنطقتين كنديتين. وكان ذلك أكبر انقطاع للطاقة الكهربائية في تاريخ أمريكا الشمالية.

وكانت كارثة 2003 أيضا مؤشرا. فإنه وخلال شهرين كانت هناك حوادث مماثلة لانقطاع التيار في كل من المملكة المتحدة والدانمرك والسويد وإيطاليا. وفي الشهر 2003/9 كان هناك حوالي 57 مليونا من الإيطاليين من دون كهرباء بسبب التعقيدات في نقل الطاقة من فرنسا إلى سويسرا ومنها إلى إيطاليا. وعلى امتداد أكثر من عقد من الزمن زاد عدد حالات الانقطاع الكهربائي عن أكثر من 50 000 شخص في الولايات المتحدة.

إضافة إلى الإزعاج فإن انقطاع التيار الكهربائي يؤدي إلى خسائر اقتصادية جسيمة. وسوف تسوء الاضطرابات ما لم يتم إصلاح كامل لنظام نقل الطاقة من محطات التوليد إلى المحطات الفرعية المحلية. ولا بد من بناء عدد أكبر من خطوط الضغط العالي لكي يتم مجاراة الطلب المتنامي بسبب زيادة أحمال تكييف الهواء والحواسيب، وكذلك الأجهزة الإلكترونية الحديثة القابلة للشحن.

ولكن ربما من الأهم بكثير أن تكون شبكة الطاقة أكثر ذكاء. فمعظم الأجهزة التي تهتم بسريان الكهرباء يعود تاريخها إلى السبعينات من القرن الماضي، ولذلك فإن نظام التحكم ليس بالجودة التي تمكنه من متابعة الاضطرابات في وقتها الحقيقي ـ وقت وقوعها ـ أو أن يستجيب بطريقة آلية لعزل المشكلات قبل أن تتفاقم. فيجب أن تكون كل نقطة من شبكة الطاقة متيقظة ومستجيبة وعلى اتصال بكل نقطة أخرى. إضافة إلى ذلك فإن المعلومات التي تصل إلى المشغلين في محطات التحكم المركزية ضئيلة ومرت عليها 30 ثانية على الأقل، مما يجعل من المتعذر عليهم الاستجابة بالسرعة الكافية لوقف الاضطرابات المتلاحقة التي توشك على البدء. ولذا فإن شبكة ذكية ذاتية الإصلاح ومتنبهة للاضطرابات المتنامية والتي تستطيع إعادة تشكيل نفسها لحل المشكلة، ستكون قادرة على تقليل الانقطاعات الكهربائية بدرجة كبيرة؛ وستستطيع أيضا احتواء الفوضى التي قد تنشأ نتيجة لعمل تخريبي؛ وستسمح أيضا بنقل الطاقة الكهربائية بطريقة أكثر كفاءة، مما يوافر ملايين الدولارات للمستهلكين ومرافق الكهرباء، أثناء التشغيل العادي. وتتوافر التقانة اللازمة لبناء مثل هذه الشبكة الذكية، وقد برهنت العروض الحديثة للمشروعات على جدواها.

إرباك سببه التحديث(*)

لقد أصبح نظام النقل مهددا بانقطاع التيار بسبب الجهود المبذول على امتداد قرن من الزمن لخفض فقد الطاقة فيه. فأثناء مرور الطاقة الكهربائية في سلك فإن جزءا منها يتم فقده على هيئة حرارة. والفقد يتناسب مع قيمة التيار المحمول، لذلك فإن مرافق الكهرباء تعمل على خفض التيار وتعويض ذلك برفع الفلطية (الجهد الكهربائي). كذلك استمرت هذه المرافق في بناء خطوط نقل أطول وذات فلطية أعلى لتوصيل الطاقة الكهربائية بكفاءة عالية من محطات التوليد إلى المستهلكين البعيدين. وتسمح هذه الخطوط ذات الفلطية العالية أيضا لمرافق الكهرباء القريبة بربط شبكاتهم، وبذلك يساعد كل منها الأخرى على المحافظة على توازن حيوي بين التوليد واحتياجات المستهلك.

ولكن مثل هذه الارتباطات قد تؤدي إلى أخطار معينة، منها الانتشار السريع للانقطاع في أحد القطاعات إلى القطاعات الأخرى. وقد دفع الانقطاع الكبير أثناء عام 1965 في الشمال الشرقي من الولايات المتحدة الأمريكية، المرافق إلى تأسيس «هيئة أمريكا الشمالية للموثوقية الكهربائية» (NERC)، وذلك للتنسيق بين الجهود المبذولة بهدف الارتقاء بموثوقية النظام. وتوجد حول العالم هيئات مشابهة (مثل الاتحاد الأوروبي لتنسيق نقل الكهرباء.)

لماذا إذًا كانت شبكة الولايات المتحدة معرضة بما فيه الكفاية للانهيار الكبير في عام 2003؟ أحد الأسباب الرئيسية يكمن في عدم توافر الاستثمار في تحسين نظام النقل. فبسبب الارتفاع السريع لأسعار الوقود في السبعينات من القرن الماضي وعدم الحماس المتزايد للطاقة النووية، أقر الكونكرس الأمريكي تشريعا يهدف إلى السماح بالمنافسة في السوق بهدف تحسين الكفاءة. وأدى ما تبع ذلك من قوانين إلى تغيير كاسح في الصناعة وهو الذي صار يعرف باسم إعادة الهيكلة.

(*) Overwhelmed by progress

(1) وتسمى أيضا طاقة (قدرة) غير فعالة. والمفاعلية هنا صفة حالة مفاعلة تحريضية أو مواسعية.

(التحرير)

وقبل بدء إعادة الهيكلة بصورة جدية في تسعينات القرن الماضي، قامت معظم المرافق، كلٌ في منطقته، بإجراء جميع المهام الثلاث التالية: توليد الطاقة في محطات توليد كبيرة ونقلها إلى المحطات الفرعية بواسطة خطوط الفلطية العالية، ويلي ذلك توزيعها على المستهلكين عن طريق خطوط ذات فلطية أقل. ويوجد حاليا العديد من منتجي الطاقة الذين يبيعونها لمستهلكين على مسافات بعيدة أو قريبة من خلال خطوط نقل غير مملوكة لهؤلاء المنتجين. وفي الوقت نفسه، قامت بعض المرافق ببيع أجزاء منها بتشجيع من اللجنة الفدرالية التنظيمية للطاقة بهدف تكوين المزيد من المنافسة. وبالتدريج أصبح موضوع نقل الطاقة خليطا محيرا من خدمات منظمة وأخرى غير منظمة، حيث تقوم شركات مختلفة بالتحكم في أجزاء متناثرة من الشبكة.

والآن عرف المستثمرون مدى جاذبية توليد الطاقة، التي تعتبر حاليا وفي الغالب غير منتظمة. ولكن ما يثير قلق المستثمرين هو عدم وضوح مصير نظام نقل الطاقة لكونه غير منظم جزئيا فقط (عملية تنظيم مجال التوزيع مازالت في مراحلها الأولى). وفي هذه الأثناء، وعلى الرغم من أن توجيه نقل الطاقة قد تم في الماضي، فإنه منذ تسعينات القرن الماضي قد تم نقل كميات أكبر من الطاقة عبر مسافات بعيدة. ونتيجة لذلك تتم عمليات نقل كبيرة عبر خطوط نقل تم بناؤها منذ عدة عقود بواسطة مرافق الكهرباء، في الغالب للاستخدام على النطاق المحلي.

إن التشريع الفدرالي المقترح قد يشجع على زيادة الاستثمار، ولكن حتى في حالة زيادة سعة النقل فإن الانقطاعات الكهربائية سوف تستمر في الحدوث. إن من اللازم إعادة تجهيز شبكة الطاقة بالكامل، لأن التقانات الحالية للتحكم التي لها دور أساسي في سرعة استشعار فشل أحد الخطوط الصغيرة أو احتمال حدوث حالة كبيرة من عدم الاتزان، قد أصبحت من طراز عتيق. ولكي تستمر الشبكة في حالة يعتمد عليها يجب أن تعمل بطريقة شبيهة بعمل الطائرة الحربية، التي تطير في معظم الوقت باستخدام أنظمة مستقلة، بحيث يستطيع المتحكم البشري أخذ زمام السيطرة عند الحاجة لتفادي كارثة.

الحاجة إلى السرعة(**)

تجهز الطائرات الحربية الحديثة بأجهزة قيادة متقدمة تمكن الطيار من الاعتماد على شبكة من أجهزة الاستشعار والتحكم الآلي التي تجمع المعلومات بسرعة وتتصرف على أساسها. ولحسن الحظ، فإن التطورات الحديثة في البرامج والأجهزة الحاسوبية المطلوبة لتشغيل الشبكة الكهربائية بطريقة مشابهة ولتغيير مسارات سريان الأحمال بسرعة آنية وكذلك لإغلاق محطات التوليد، متوافرة بالفعل.

ومع ذلك فإن عملية إعادة تشكيل نظام متشابك تعتبر تحديا كبيرا. فمعظم محطات التوليد وخطوط النقل تتم مراقبتها بواسطة نظام إشرافي للتحكم وتجميع البيانات (SCADA). ويقوم هذا النظام الذي يحتوي على أجهزة استشعار ومتحكمات بسيطة بثلاث وظائف حيوية هي: تجميع البيانات والتحكم في محطات التوليد وعرض الإنذار وكذلك السماح للمشغلين الموجودين في محطات التحكم الرئيسية بالقيام بأعمال معينة، مثل فتح قاطع التيار أو غلقه. ويراقب النظام SCADA المفاتيح والمحولات وأجزاء من أجهزة صغيرة تعرف باسم متحكمات منطقية قابلة للبرمجة، وأيضا **وحدات الأطراف البعيدة** remote terminal units والموضوعة في محطات التوليد والمحطات الفرعية وتقاطعات خطوط النقل والتوزيع ويقوم النظام بإرسال المعلومات أو الإنذارات إلى المشغلين عبر قنوات الاتصالات.

ولكون النظام SCADA يرجع إلى 40 عاما مضت، فإن جزءا كبيرا منه بطيء في التعامل مع تحديات الحاضر ولا يقوم بالاستشعار أو التحكم بدرجة كافية في المكونات على امتداد الشبكة. ومع أنه يسمح ببعض التنسيق في النقل بين المرافق، فإن هذه العملية بطيئة ومتعثرة لدرجة كبيرة. ومازال معظمها يتم على أساس مكالمات هاتفية بين المشغلين البشريين في مراكز التحكم للمرافق ولاسيما أثناء الطوارئ. إضافة إلى ذلك، فإن معظم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة ووحدات الأطراف البعيدة تم تطويرها قبل إرساء المواصفات الخاصة بالقدرة على **التشغيل البيني** interoperability في جميع النشاطات الصناعية، ولذلك نرى المرافق المتجاورة غالبا ما تستعمل برامج غير متوافقة. وتقترب المرافق باستمرار من حافة مجال الاتزان باستخدام أنظمة التحكم التي كانت تتبع في ستينات القرن الماضي.

شبكة ذكية ذاتية الإصلاح(***)

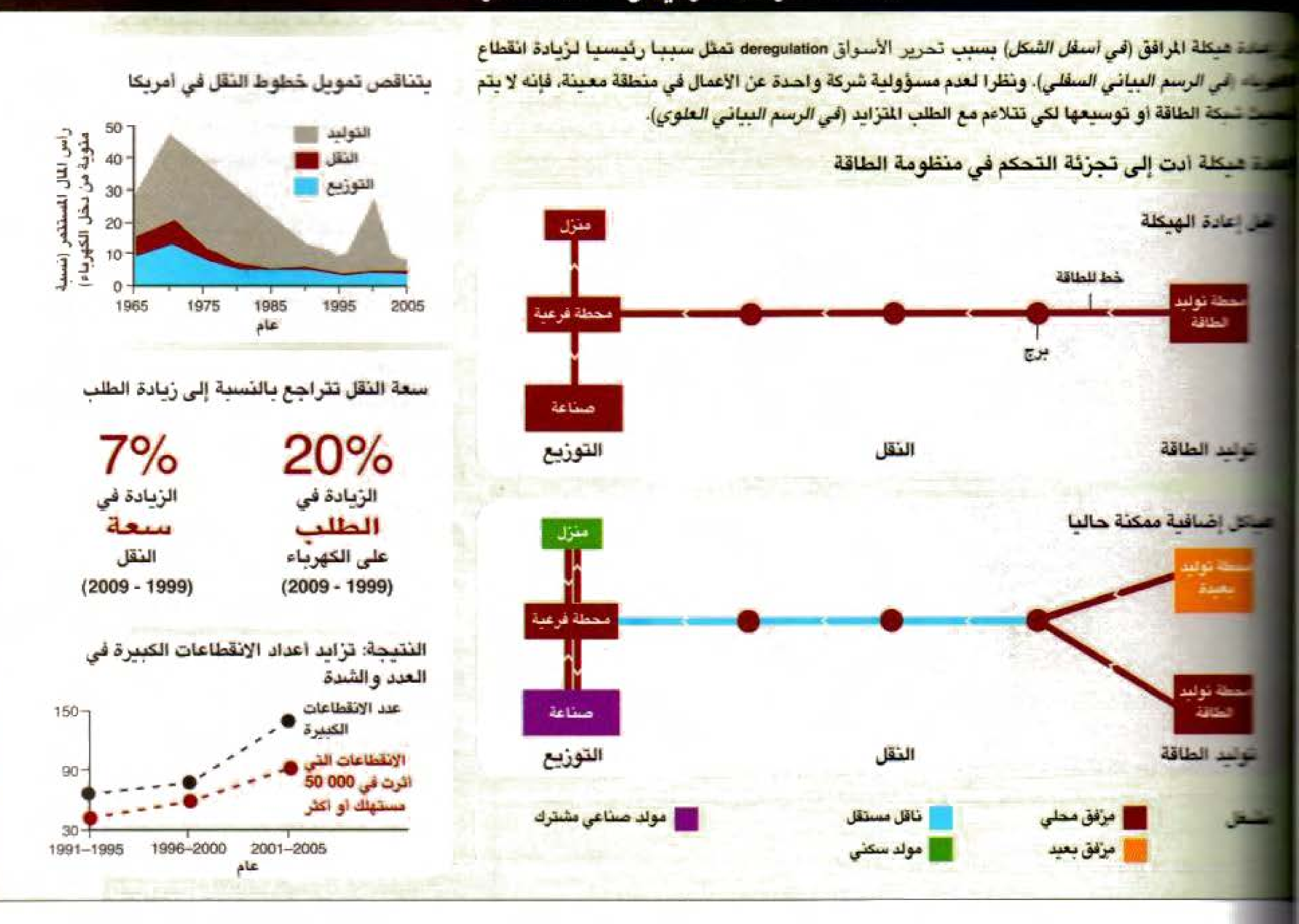
وتكون النتيجة ألا يستطيع أي مشغل بمفرده أو **مرفق** utility القيام **بتركيد**(1) أو عزل عطل في النقل الكهربائي. وتتطلب

نظرة إجمالية/ شبكة ذكية(*)

- **لعقود من الزمن، زاد الطلب على الكهرباء باطراد، ومع ذلك لم تتم أي إضافات أو تحديث بنفس المعدل لخطوط النقل التي تقوم بنقل الطاقة من محطات التوليد إلى المستهلكين. ونتيجة لذلك أصبحت الشبكة محملة أكثر من المسموح به، مما يجعلها عرضة لانقطاعات الكهرباء التي زادت عددا وشدة، وأدى ذلك إلى خسارة اقتصادية سنوية للولايات المتحدة تزيد على 70 بليون من الدولارات.**
- **وحتى في وجود عدد أكبر من خطوط النقل هناك حاجة إلى شبكة ذكية قادرة على إصلاح نفسها بنفسها وعلى الاستشعار المبكر بالمشكلات المحلية وعلى القيام تلقائيا بإصلاحها أو عزلها قبل أن يزداد حجمها، وهذا يمنع حدوث الانقطاعات المتتالية للطاقة التي تسبب انقطاعات الكهرباء.**
- **لا بد من تزويد كل خط من خطوط النقل وكل محطة فرعية وكل محطة توليد وكذلك كل مركز من مراكز التشغيل، بأجهزة المتحكمات الرقمية وأجهزة الاتصالات الفورية.**
- **تحتاج مراكز التشغيل، كذلك إلى أجهزة حاسوبية وبرامج مُجددة تمكن القائمين على التشغيل من التحكم في الشبكة الذكية المشغلة آليا وذلك بطريقة يدوية إذا بدأ الانقطاع بالظهور بصورة أو بأخرى. ويحتاج القائمون على التشغيل كذلك إلى تدريب أفضل لمعرفة كيفية التصرف بسرعة.**

(*) Overview / Smart Grid
(**) A Need for Speed
(***) The Self-Healing Smart Grid
(1) stabilize

المشكلة: كثرة المشاركين وقلة الاستثمارات[*]



إدارة آنية لشبكة حديثة مزيدا من المراقبة الآلية وقدرا أكبر من التعامل المتبادل بين المشغلين البشريين والأنظمة الحاسوبية وشبكات الاتصالات وأجهزة الاستشعار التي تقوم بتجميع البيانات، والتي يجب أن يتم نشرها في كل مكان داخل محطات التوليد والمحطات الفرعية. ويتطلب التشغيل الذي يمكن الاعتماد عليه أيضا وصلات للاتصالات ذات اتجاهين وذات معدل عال لنقل البيانات فيما بين هذه النقاط؛ إضافة إلى أنظمة حاسوبية قوية في مركز التحكم، وهذا غير موجود حاليا. كذلك يجب توزيع حواسيب ذكية على امتداد الشبكة يمكنها، بطريقة تلقائية، أن تعيد تشكيل سريان الطاقة عند الاستشعار ببدء الانقطاع.

يبدأ إطلاق الشبكة بنوع مختلف من تصميم النظام. فقد توصلت الأبحاث الحديثة في مجالات عدة، بما فيها الأنظمة الديناميكية اللاخطية والذكاء الصنعي **ونظرية المباريات** game theory وهندسة البرمجيات إلى نظرية عامة حول كيفية تصميم أنظمة مركبة يمكنها التكيف مع الظروف المتغيرة. وتقدم تقنيات الرياضيات وطرق الحوسبة إلى هذا التخصص الناشئ، أدوات جديدة لمهندسي الشبكات. إن فرق العمل في الصناعة ـ بما فيها مجموعة تدار بواحد منا (أمين) عندما كان يعمل في معهد أبحاث الطاقة (EPRI) بپالوالتو في كاليفورنيا ـ قد اقترحت أنظمة مركبة ذاتية التكيف لشبكات الطاقة الإقليمية الكبيرة. وعلى نطاق تجريبي قام العديد من **المرافق**[1] بنشر وحدات ذكية للأطراف البعيدة ومتحكمات قابلة للبرمجة، يمكنها ذاتيا تنفيذ سيرورات بسيطة لا تحتاج إلى مراجعة مشغل بشري. أو يمكن إعادة برمجتها عن بعد بواسطة المشغل. وهناك حاجة إلى تنفيذ ذلك على نطاق أوسع.

وأفضل طريقة لبناء شبكة ذكية هي أن يحاول مصمموها تلبية ثلاثة أهداف أولية. وأهم هذه الأهداف هو القدرة على المراقبة والاستجابة الآنية. وستقوم مجموعة من أجهزة الاستشعار بمراقبة الكميات الكهربائية كالفلطية والتيار وحالة المكونات الحيوية. وباستعمال هذه القياسات، سيتمكن النظام من ضبط نفسه باستمرار للوصول إلى الحالة المثلى.

والهدف الثاني هو الترقب أو التوقع. فلابد أن يقوم النظام بالبحث بشكل مستمر عن مشكلات محتملة يمكن أن تسبب اضطرابات أكبر، مثل محول يعاني زيادة غير

(*) THE PROBLEM: TOO MANY PLAYERS, TOO LITTLE INVESTMENT

(١) ج: مرافق utility

مسموحة في درجة الحرارة. حينئذ تقوم الحواسيب بتقييم علامات الاضطراب ونتائجها الممكنة ويمكنها بعد ذلك تحديد إجراءات تصحيحية وتجربتها من ناحية فعالية كل إجراء، وتقديم أكثر الاستجابات فائدة إلى المشغلين الذين يستطيعون بعد ذلك الإسراع في تنفيذ الإجراء التصحيحي عن طريق الاستفادة من العديد من إمكانيات التحكم الآلي في الشبكة. وتطلق الصناعة على هذه القدرة مصطلح محاكاة سريعة للنظر إلى الأمام.

والهدف الثالث هو العزل. فإذا كان للأعطال أن تحدث، فإن الشبكة بكاملها ستتجزأ إلى «جزر» منعزلة ينبغي أن تهتم كل واحدة منها بنفسها. وتقوم كل جزيرة بإعادة تنظيم محطات التوليد وسريان الأحمال الخاصة بها بقدر استطاعاتها. وعلى الرغم من احتمال أن يؤدي ذلك إلى تغيرات في القلطية أو حتى إلى انقطاعات صغيرة، فقد يمنع ذلك الأحداث المتتالية التي تسبب انقطاعات كبيرة. وفي حين يقوم عمال الخطوط بإصلاح الأعطال، يقوم طاقم التحكم بإعداد كل جزيرة لاستعادة ارتباطها بالشبكة الأكبر بطريقة سلسة. وسيتصرف طاقم التحكم والحواسيب الخاصة بهم وكأنهم شبكة توزيع ويقومون بالاتصال بوساطة الموجات الميكروية (الميكرويف) والألياف البصرية أو خطوط النقل نفسها. وبمجرد استعادة سريان الطاقة الكهربائية سيبدأ النظام عملية الوصول ذاتيا إلى الوضع الأمثل.

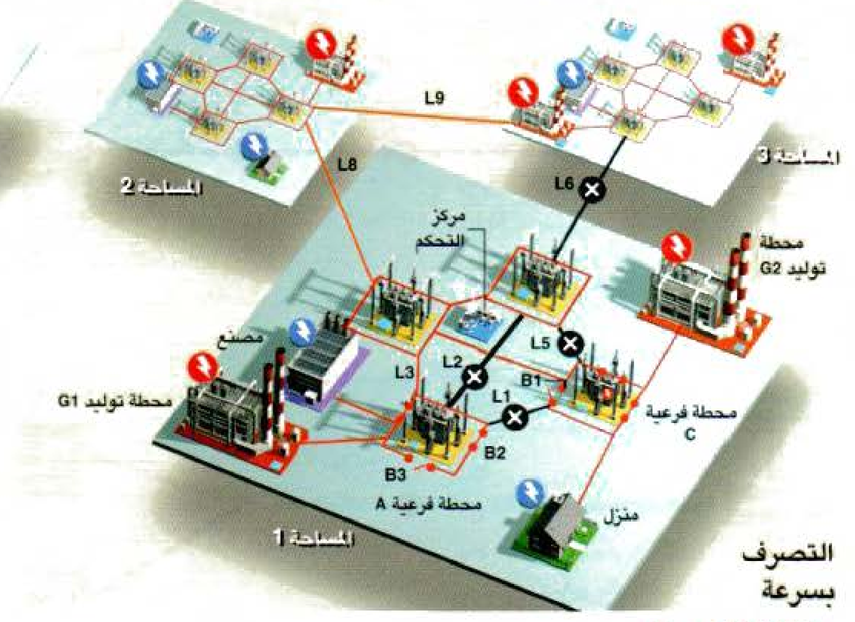
ولتحويل البنية التحتية الحالية إلى هذا النوع من الشبكة الذكية الذاتية الإصلاح، يجب أن يتم نشر ومكاملة تقانات متعددة. وتتمثل الخطوة الأولى في بناء معالج بداخل كل مفتاح أو قاطع أو محول أو **نقطة تجميع** Bus Bar، وهي الموصلات الكبيرة التي تحمل الكهرباء بعيدا عن المولدات. ويجب تجهيز كل خط نقل **بمعالج** processor له القدرة على التواصل مع المعالجات الأخرى: كل منها يتابع نشاط القطعة المعينة المسؤول عنها، وذلك عن طريق أجهزة استشعار للمراقبة تمت إضافتها إلى الأنظمة الخاصة بها.

وحالما تتم مراقبة كل جهاز، يجب حينها الاستعاضة عن ملايين المفاتيح الكهرميكانيكية المستخدمة حاليا بدوائر **الحالة الصلبة** solid-state و**القدرة الإلكترونية** power - electronic، وهي نفسها يجب تقويتها لتتحمل أعلى فلطية نقل 345 كيلوفلط وأكبر من ذلك. وهذا التحسين من الأجهزة التماثلية إلى الأجهزة الرقمية سيسمح بالتحكم الرقمي لكامل الشبكة، وهي الطريقة الوحيدة لتنفيذ المراقبة الذاتية والإصلاح الذاتي في الزمن الفعلي.

إن الانتقال الكامل يتطلب كذلك تحويل خطوط التوزيع الصغيرة ذات القلطية المنخفضة والتي تغذي كل منزل ومؤسسة، إلى رقمية. إن مفتاح الحل هو الاستعاضة عن عدّاد القدرة الذي عمره عقود ويعتمد على التروس الدوّارة، بعدّاد رقمي يستطيع اقتفاء أثر التيار الداخل إلى مبنى وكذلك اقتفاء أثر التيار المرسل إلى الخارج. وهذا يسمح لمرافق الكهرباء بتقدير أفضل لكمية الطاقة والطاقة الفاعلية التي تنساب من المنتجين المستقلين راجعة إلى الشبكة. وسيسمح ذلك أيضا لمرفق الكهرباء باستشعار الاضطرابات المحلية الصغيرة، مما يمكن من تقديم إنذار مبكر عن المشكلات التي يمكنها أن تتفاقم، مما يحسن

الحل: شبكة ذكية ذاتية الإصلاح(*)

تخيل أن عاصفة رعدية ضربت الخطين L5 و L6. مثل هذا الحدث يؤدي عادة إلى سلسلة من ردود الأفعال على هيئة أعطال في الخطوط قد تتسبب بانقطاع الكهرباء في المساحة رقم 1. ولكن يمكن لشبكة ذكية أن تقوم بعزل المشكلة وتصحيحها كما هو مبين في الأسفل. يبدأ الإجراء بقيام حاسوب الرؤية إلى الأمام في مركز التحكم بمحاكاة إجراءات تصحيحية في أقل من نصف ثانية، ويرسل تعليمات إلى حواسيب التحكم على امتداد الشبكة.



التصرف بسرعة

0.04 ثانية بعد ذلك

إن خسارة الخطين L5 و L6 تؤدي إلى عطل في الخط L1. يأمر حاسوب التحكم كلا من قواطع التيار B1 و B2 بالفتح لعزل العطل، ولكن قاطع التيار B2 يفشل بالفتح ويبقى مقفلا.

0.1 ثانية

يتسارع المولد G1 تلقائيا لتغطية الحمل بسبب فقد المولد G2 نتيجة للمشكلات في الخطين L5 و L1. المولد G1 يتسارع أيضا لكي يحاول أن يجعل القلطية في المساحة 1 عند التردد المطلوب 60 هرتز (ذبذبة في الثانية).

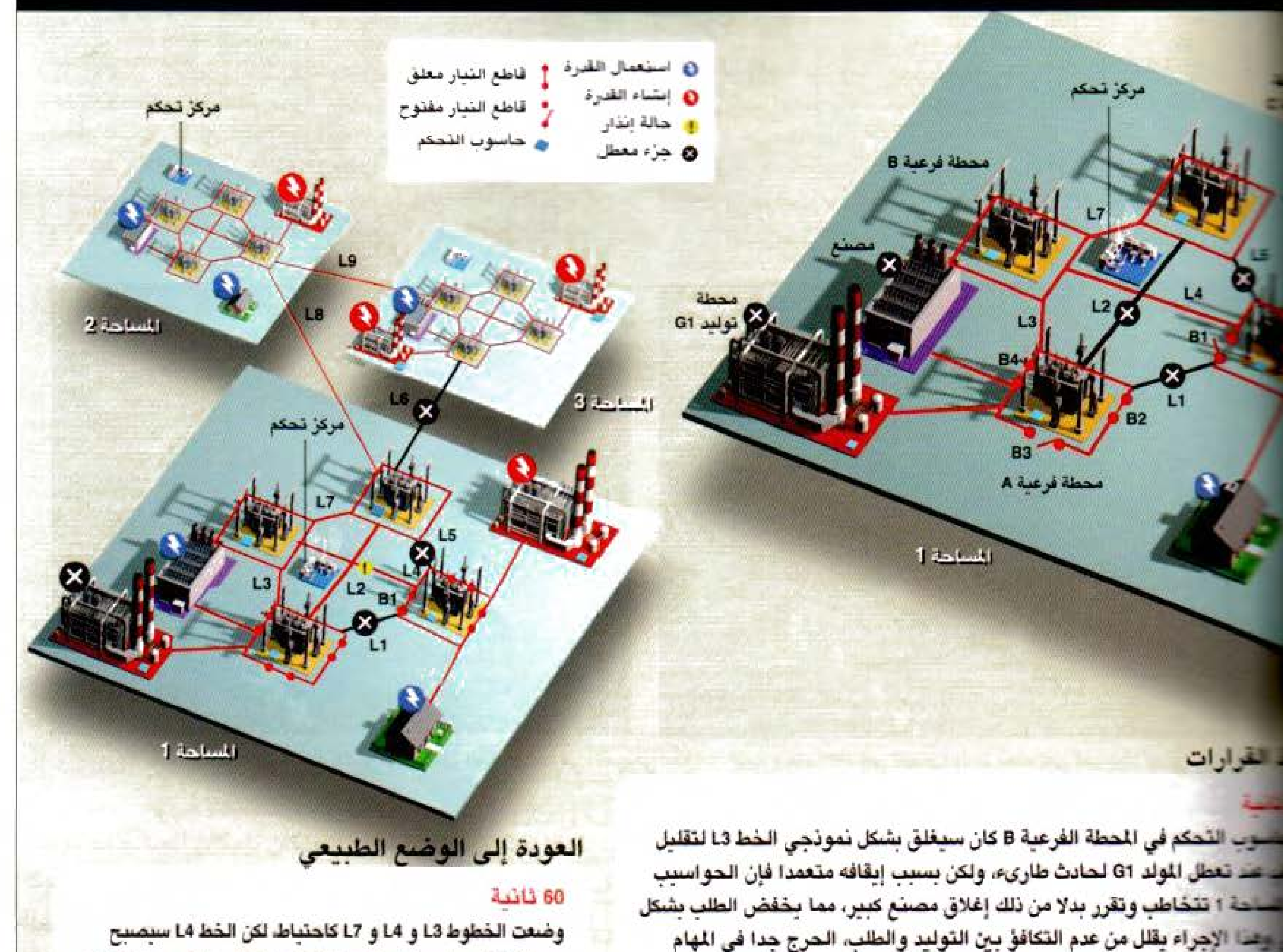
0.4 ثانية

يطلب حاسوب المحاكاة والتحكم في المحطة الفرعية A من قاطع التيار B3 أن يفتح، وذلك لحماية المحطة الفرعية من الضرر نتيجة لمرور تيار كبير فيها. يفتح قاطع التيار B3 فاصلا بذلك الخط L2. يستمر المولد G1 في مزيد من التسارع للتعويض.

0.5 ثانية بعد ذلك

يقوم مركز التحكم بفصل المولد G1 لمنع الضرر عنه بسبب التسارع المرتفع.

THE SOLUION: A SMART GRID THAT HEALS ITSELF (*)



القرارات

سوب التحكم في المحطة الفرعية B كان سيغلق بشكل نموذجي الخط L3 لتقليل عند تعطل المولد G1 لحادث طارىء، ولكن بسبب إيقافه متعمدا فإن الحواسيب ساحة 1 تتخاطب وتقرر بدلا من ذلك إغلاق مصنع كبير، مما يخفض الطلب بشكل وهذا الإجراء يقلل من عدم التكافؤ بين التوليد والطلب، الحرج جدا في المهام مثل إنارة الشوارع والمستشفيات التي يجب أن تبقى مغذاة كهربائيا.

وبعد عدة ثوان يكتشف حاسوب المحطة الفرعية B أن القلطية هناك بدأت بالتذبذب التفاوت الأمن المسموح به، لأن عدم التكافؤ ما زال كبيرا، مما يهدد بإعطاب الأجهزة خطوط L3 و L4 و L7. وعوضا عن إغلاق هذه الخطوط (الاستجابة التقليدية القديمة) المنطقة بتغيير تحكم المولد G2 إلى يدوي مقدمة النصح للمشغلين البشريين في المساحة 1 بزيادة التوليد أو تقليل الحمل، وهم سينفذون أحد الخيارين.

العودة إلى الوضع الطبيعي

60 ثانية

وضعت الخطوط L3 و L4 و L7 كاحتياط، لكن الخط L4 سيصبح محملا بأكثر مما يحتمل. يتصل المشغلون البشريون في مركز التحكم عن طريق الأقمار الصنعية بالمشغلين في مركز تحكم المساحة 2 طالبين المساعدة. يقوم المشغلون في المساحة 2 بإرسال طاقة عبر الخط L8، كما يقومون بتوجيه حواسيب التحكم في قطاعهم لتغيير انسياب الطاقة قليلا للتعويض عن التصدير المفاجىء. وحالما يقوم عمال الطرق بإصلاح الخطين المعطوبين L5 و L6 تقوم الحواسيب بإرجاع الخط L1 ومحطة التوليد G1 إلى الخدمة. وهكذا تعود الطاقة في المساحات الثلاث إلى الانسياب الطبيعي.

محاكاة النظر للأمام. وسيسمح هذا مرافق الكهرباء بأن تقدم للزبائن رسوما تتغير من ساعة إلى أخرى تتضمن حوافز لتشغيل الأجهزة والآلات في أوقات غير الذروة والتي ربما تختلف من يوم لآخر، مما يقلل القفزات في الطلب التي يمكن أن تجعل الشبكة غير مستقرة. إن بوابة الطاقة الرقمية هذه ليست كالعدّاد فهي تسمح للمعلومات عن الشبكة بأن تنساب ذهابا وإيابا مع تجاوب المستهلكين للتغييرات في الأسعار. والبوابة هي أداة للانتقال إلى ما بعد نموذج سلعة توصيل الكهرباء إلى عهد جديد من خدمات متعددة للطاقة مشابه لما هو حاصل اليوم في السوق الديناميكي للاتصالات.

إن مشروع المعهد EPRI لتصميم نموذج أولي للشبكة الذكية، والذي يطلق عليه مبادرة **شبكات الأنظمة التفاعلية المركبة**[1]، قد تم تنفيذه في الفترة 1998 - 2002 بمشاركة مجموعة باحثين مكونة من ست جامعات وشركتين للطاقة ووزارة الدفاع الأمريكية. وقد دفع ذلك للبدء بعدة جهود لاحقة وحالية في وزارة الطاقة الأمريكية ومؤسسة العلوم الوطنية ووزارة الدفاع والمعهد EPRI نفسه لتطوير نظام عصبي مركزي للشبكة الكهربائية. ويُظهر هذا العمل بالإجمال أن الشبكة يمكن أن تعمل قريبا من حدود الاستقرار مادام المشغلون يمتلكون باستمرار معلومات عما يجري في كل مكان. وسيتمكن المشغل من مراقبة كيفية تأثير الطقس فيه، وسيحصل على شعور قوي عن أفضل كيفية في المحافظة على التوازن ثانيةً بثانية بين الحمل (الطلب) والتوليد

(1) Complex Interactive Networks Systems Initiative

العامل البشري(*)

عندما يبدأ الانقطاع المحلي بالتزايد أكثر من قدرة الشبكة الذكية على إبقائه آليا تحت السيطرة، يقوم المشغلون البشريون في غرف تحكم المناطق بقطع سلسلة ردة الفعل. ولعمل ذلك فهم يحتاجون إلى معلومات على مدار الثانية ومعلومات كاملة عن الشبكة وبرامج حاسوبية متوائمة وإجراءات استجابة مفروضة سلفا وتدريب متين. وجميع هذه المتطلبات كانت مفتقدة عندما بدأ الانقطاع الضخم في أمريكا عام 2003 بالتزايد، كما يوضح الحوار أثناء الدقائق الأولى للحدث (*أجزاء منه موضحة في الأسفل*). فتسجيلات المحادثة المنشورة عن مجلس أمريكا الشمالية للاعتماد الكهربائي كانت بين متحكمي الاعتماد في المناطق القريبة الذين كانوا يحاولون مساعدة بعضهم على إجراء توازن في انسياب الطاقة وهو الذي كان يتجه إلى الخروج عن السيطرة.





صور بالأقمار الصنعية (السواتل)، تظهر الشمال الشرقي الأمريكي ليلة قبل انقطاع عام 2003 (*في اليمين*) وليلة بعده (*في اليسار*).

وكمثال، فإن جانبا واحدا من برنامج المعهد EPRI للشبكة الذكية يتمثل بإعطاء المشغلين قدرة أكبر على توقع عدم الاستقرار على نطاق واسع. إن أنظمة SCADA الحالية لديها 30 ثانية تأخير أو أكثر عند تقدير المشكلات المعزولة في سلوك النظام والتي يمكن اكتشافها - وهذا مشابه لقيادتنا طائرة، ناظرين من خلال مرآة ضبابية للمنظر الخلفي بدلا من المجال الجوي الأمامي الصافي. إن مشروع المحاكاة السريعة والنمذجة في المعهد EPRI يتطور بشكل أسرع من محاكاة النظر للأمام في الزمن الفعلي في توقع المشكلات - وهذا مشابه للاعب شطرنج بارع يقوم بتقييم الخيارات المتاحة لعدة نقلات مستقبلية. إن هذا النوع من النمذجة الذاتية للشبكة أو الوعي الذاتي سيجنب الاضطرابات عن طريق إجراء تحليلات من نوع ماذا-لو. وسيساعد هذا أيضا على إصلاح ذاتي للشبكة والتكيف مع الحالات الجديدة بعد انقطاع الكهرباء أو هجوم عدائي، كما تفعل طائرة حربية عند إعادة ترتيب أنظمتها لإبقائها محلقة في الجو على الرغم من حدوث عطب فيها.

من سيسدد التكاليف(**)

إن الشبكة الذكية الذاتية الإصلاح لم تعد حلما بعيدا من الناحية التقانية. لكن إيجاد التمويل اللازم لبنائها أمر آخر.

وهذه الشبكة قد تكون مكلفة، لكن ليست بالمستحيلة بالنظر إلى الاستثمارات التاريخية. ويقدر المعهد EPRI تكلفة الفحص والتمديد من خلال نظام النقل والتوزيع الأمريكي بأكمله ما قد يصل إلى 13 بليون دولار أمريكي في السنة ولمدة عشر سنوات - ويعادل هذا أكثر من 65% مما تستثمره حاليا صناعة الكهرباء في العام الواحد. وتتنبأ دراسات أخرى بأن التكلفة قد تصل إلى 10 بلايين دولار أمريكي في السنة ولمدة عقد أو أكثر. ويجب أن تصرف الأموال كذلك على تدريب العنصر البشري المتمثل بالمشغلين. إن التكاليف تبدو عالية، لكن التقديرات تشير إلى أن الخسائر الاقتصادية من جميع الانقطاعات التي حدثت في أمريكا قد تراوح بين 70 و 120 بليون دولار أمريكي في السنة الواحدة. وعلى الرغم من أن انقطاعا كبيرا في الكهرباء يحدث تقريبا مرة واحدة في العقد، لكن في كل يوم هناك 500 000 مستهلك أمريكي من دون كهرباء لمدة ساعتين أو أكثر.

ومن سوء الحظ أن دعم البحث والتطوير في قطاع صناعة الكهرباء متدن في جميع الأوقات، وهو الأقل في أي قطاع صناعي رئيسي باستثناء العجائن والورق. ويعتبر إيجاد الدعم تحديا ضخما لأنه يجب على مرافق الكهرباء أن تفي بالطلب المتزايد من جانب الزبائن والمشرعين. وفي الوقت نفسه تكون متجاوبة مع مالكيها الذين يميلون إلى الحد من الاستثمارات للحصول على عائدات في مدى قصير.

وهناك عوامل أخرى يجب أخذها بالحسبان: ما مستوى التهديد الإرهابي الذي تكون صناعة الكهرباء مسؤولة عنه.

(*) THE HUMAN FACTOR
(**) Who Should Pay



الباحثون في مختبر شمال غرب الباسفيكي الوطني يجلسون في محاكي مركز تحكم إقليمي، ويقومون بفحص نموذج أولي لبرنامج حاسوبي يستطيع أن يقدم للمشغلين البشريين معلومات عن الشبكة في الزمن الفعلي، وهي معلومات ضرورية لإيقاف الانقطاعات الناشئة حديثا قبل انتشارها.

ربما الذي يجب أن تغطيه الحكومة؟ إذا كان ارتفاع الرسوم أمرا غير مرغوب فيه، فكيف يمكن حينئذ السماح لمرفق الكهرباء بتوفير الأموال اللازمة له؟ إن تحسين البنية التحتية للطاقة يتطلب التزامات طويلة المدى من جانب مستثمرين صبورين؛ كما يجب على جميع القطاعات، الخاص منها والعام، ذات الصلة أن تعمل متعاضدة معا.

وربما تدرك الحكومة الحاجة إلى قرار. إن مكتب البيت الأبيض لسياسة العلوم والتقانة ووزارة الأمن الوطني أعلنتا مؤخرا عن «بنية تحتية ذاتية الإصلاح» كواحد من ثلاثة طموحات استراتيجية في خطتها الوطنية للبحث والتطوير في دعم حماية البنية التحتية الحيوية. إن الإشراف الوطني حاجة ماسة؛ لأن الغياب الحالي في التنسيق عند اتخاذ القرار يعتبر عقبة رئيسية. إن حقوق الولايات وقوانين مفوضية المرافق العامة على مستوى الولاية تقتل أساسا الحافز لأي مرفق كهرباء أو مجموعة مرافق لقيادة الجهود على مستوى الدولة. وعلى ذلك فإنه ما لم يتم تكوين تعاون على مستوى الولايات كافة فإن التأميم الاجباري لصناعة الكهرباء هو الطريق الوحيد لإنجاز شبكة ذكية.

إن الخطورة تكمن في مقدرة البنى التحتية الحيوية للدولة على الاستمرار في العمل بموثوقية وأمان. وعلى الأقل فإن نظام النقل الذاتي الإصلاح سيقلل من تأثير أي نوع من المحاولات الإرهابية لقطع شبكة الكهرباء. إن فترات القطع يمكن تلافيها أو تقليلها ويمكن مستواه التخريب ويمكن تقليل الانقطاعات ويمكن إيصال الكهرباء للجميع بكفاءة أعلى.

لو أن الشبكة الذكية الذاتية الإصلاح كانت موجودة عندما فشل الخط المحلي بأوهايو في الشهر 2003/8، لكانت الأحداث قد تكشفت بطريقة مختلفة تماما. فمعدات توقع العطب الموجودة على أحد طرفي خط النقل المقطوع كان بإمكانها اكتشاف الإشارات غير الطبيعية وإعادة توجيه انسياب الطاقة عبر الخط وحوله لعزل الاضطراب قبل عدة ساعات من تعطله؛ ولتمكن **محاكي النظر للأمام**[(1)] من تعرف الخط الذي يُظهر احتمالا أعلى من الطبيعي للتعطل؛ ولتمكنت البرمجيات الذاتية الإدراك على طول الشبكة وفي مراكز التحكم من تشغيل سيناريوهات التعطل لتحدد الاستجابة التصحيحية المثالية؛ ولتمكن المشغلون من الموافقة وتنفيذ التغييرات الموصى بها. وعلى كل حال، لو أن الخط تعطل بطريقة ما لاحقا لتمكنت دائرة الاستشعار من اكتشاف تذبذب القلطية، وقامت بتوصيل المعلومة إلى **المعالجات** processors في المحطات الفرعية القريبة؛ ولكان بإمكان المعالجات توجيه الطاقة خلال أجزاء أخرى من الشبكة؛ ولكان أكثر ما يمكن أن يراه المستهلك ضمن منطقة كبيرة هو تذبذب وجيز في الإضاءة، وما كان الكثير من الناس ليشعر بأي مشكلة على الإطلاق. ■

(1) look-ahead simulator

المؤلفان

Massoud Amin - Phillip F. Schewe

هما من المروجين لمزايا الشبكة الذكية لسنوات. «مسعود أمين» أستاذ للهندسة الكهربائية والحاسوب بجامعة مينيسوتا ومدير مركز الجامعة لتطوير القيادة التقانية، وعندما كان يعمل في معهد أبحاث الطاقة الكهربائية في پالو ألتو بكاليفورنيا كان قائدا لتطوير ما يزيد على عشرين من التقانات المتقدمة ووضع أساسيات «الشبكة الذاتية الإصلاح»، وهو اصطلاح قام هو أيضا بابتكاره. وأما «شيوي» فهو كبير كتّاب العلوم في المعهد الأمريكي للفيزياء، ويقوم بتحرير النشرة الأسبوعية للمعهد Physics News Update

مراجع للاستزادة

Technical Analysis of the August 14, 2003, Blackout: What Happened, Why, and What Did We Learn? North American Electric Reliability Council, 2004. Available at www.nerc.com/~filez/blackout.html

Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21st Century. Massoud Amin and Bruce F. Wollenberg in *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 3, No. 5, pages 34–41; September/October 2005.

The Grid: A Journey through the Heart of Our Electrified World. Phillip F. Schewe. Joseph Henry Press, 2007.

Scientific American, May 2007

رسم خارطة للجينوم السرطاني(*)

إن تحديد الجينات المسببة للسرطان سوف يساعد على إيجاد سبل جديدة عبر المجال المعقد للسرطانات البشرية.

‹F .S› كولينز - ‹D .A› باركر

«من الضروري التركيز على **الجينوم الخلوي**(1) إن أردنا بالفعل أن نعلم أكثر عن السرطان.» وقد ذكر ذلك ‹ريناتو دولبيكو› [الحائز على جائزة نوبل قبل أكثر من عشرين عاما] في واحدة من أولى المقالات التي دعت إلى إقامة ما يسمى **مشروع الجينوم البشري**(2). وقد أعلن ‹دولبيكو› [وهو أحد الباحثين الرواد في السرطان]، في مجلة **ساينز** *Science* عام 1986 «أن العالم الآن على منعطف في هذا المجال.» وقد أوضحت الاكتشافات السابقة بصورة واضحة أن أغلب الخلل السلوكي الذي أظهرته الخلايا السرطانية نابع من التلف الذي يصيب الجينات المختلفة وما يتبع ذلك من تغير في وظائفها. ويقول ‹دولبيكو›: «إننا أمام خيارين: إما محاولة اكتشاف الجينات المهمة في **الخباثة**(3) السرطانية بمقاربة متدرجة أو القيام بتحديد التسلسل الجيني للجينوم بأكمله.»

إن ‹دولبيكو› وآخرين في الجماعة العلمية تمكنوا من فهم حقيقة أن تحديد التسلسل الجيني للجينوم البشري، رغم كونه إنجازا عظيما في حد ذاته، لا يعدو كونه الخطوة الأولى على طريق البحث المؤدي إلى المعرفة الكاملة للأسباب البيولوجية للسرطان. والآن بعد النجاح في الوصول إلى التسلسل الكامل **للقواعد النكليوتيدية**(4) في الحمض النووي الطبيعي للإنسان، فإن العلماء في حاجة إلى القيام بتصنيف الجينات البشرية المختلفة طبقا لوظائفها، مما قد يساعد على كشف الدور الذي تؤديه الجينات في السرطان. وبذلك تكون قد تحققت رؤية ‹دولبيكو› على مدى عقدين من الزمن. وفي خلال فترة زمنية لم تتعد الثلاث سنوات بعد استكمال مشروع الجينوم البشري، بدأت الهيئات القومية للصحة بتبني المرحلة التجريبية بصورة رسمية، وذلك لعمل كتالوگ توضيحي يبين التغيرات الجينية في حالات السرطان، سُمي أطلس الجينوم السرطاني (TCGA).

نظرة إجمالية/ علاقات السرطان(**)

- **إن التغيرات في تركيب الجينات أو نشاطها يمكن أن تفسر السلوك الخبيث للخلايا السرطانية.**
- **وتحديد الجينات المرتبطة ببعض أنواع السرطان قد أدى فعلا إلى تطوير وسائل التشخيص والعلاج.**
- **وإن أطلس الجينوم السرطاني The Cancer Genome Atlas يعد مبادرة عظيمة ستؤدي حتمًا إلى تحديد جميع التغيرات الجينية في الأنواع المختلفة للسرطان، بحيث يمكن استهداف الجينات المسببة للسرطان مباشرة.**

إن السبب الرئيسي وراء الاهتمام بهذا العمل على نطاق بيولوجي واسع وبصورة ملحة وعاجلة هو الزيادة الواضحة في مداهمة السرطان للصنف البشري: فأكثر من 1500 أمريكي يموتون يوميا من السرطان، أي بمعدل شخص واحد كل دقيقة. ومن المنتظر أن يتزايد هذا المعدل بصورة مطردة مع مرور الزمن، ما لم يحاول الباحثون اكتشاف بعض نقاط الضعف في الخلايا السرطانية وإيجاد الخطط الملائمة لمهاجمة هذه الأهداف.

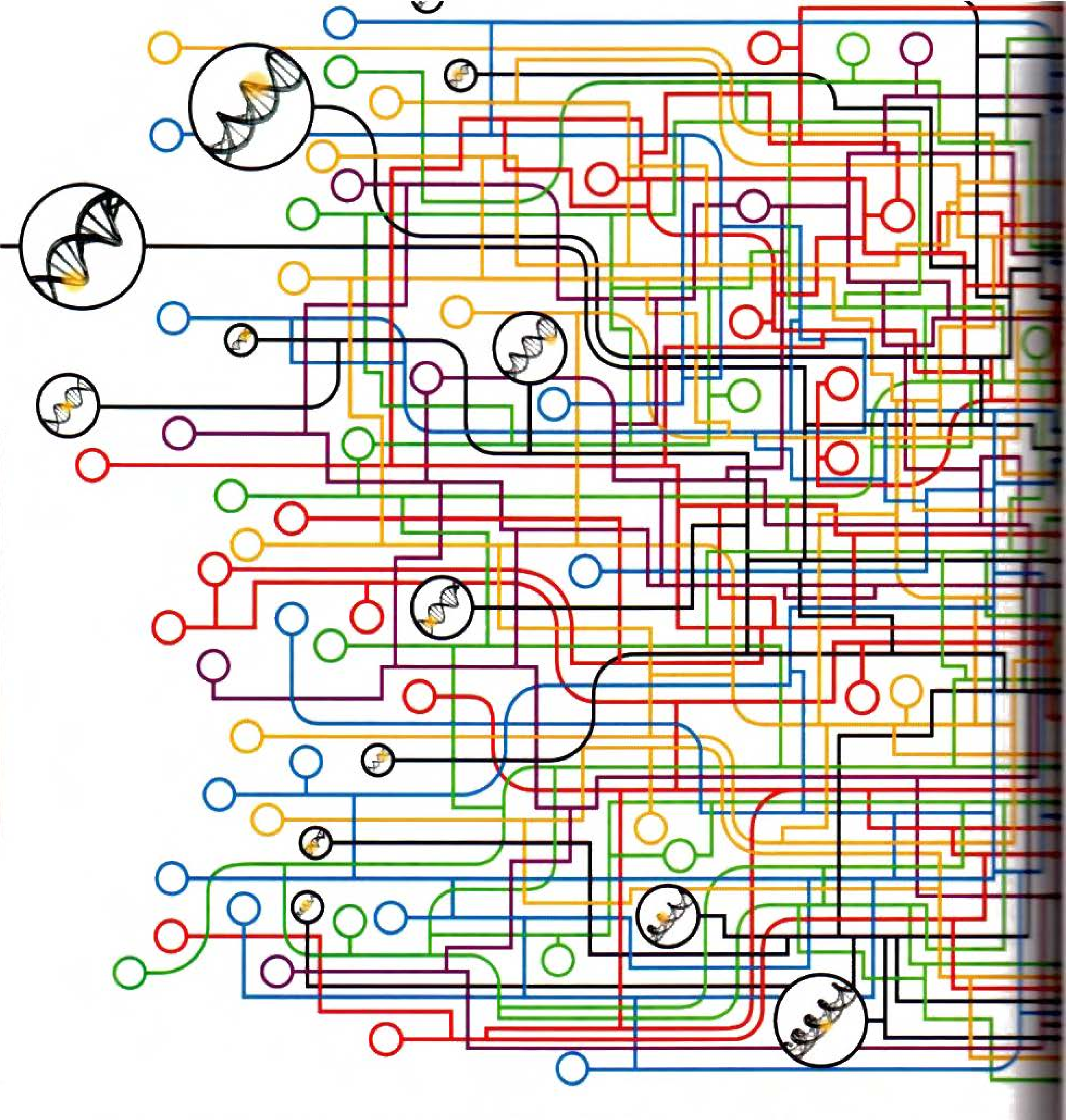
وللنجاح في هذا المضمار، يتطلب تسويغُ مشروع بحث بهذا الحجم أكثرَ من الرغبة في الحد من معاناة البشر. فعند تطبيق هذا المشروع على 50 من أكثر أنواع السرطان انتشارا، فإن هذا المجهود البحثي يعادل ما يقرب من عشرة آلاف مشروع جينوم بشري إذا أخذ في الاعتبار محض حجم **الدنا** DNA الذي سيسلسل.

جينات مريضة(***)

إن الفكرة القائلة بأن التغيرات التي تطرأ على الجينوم الخلوي تكمن في وسط جميع أشكال السرطان، ليست بالفكرة الجديدة؛ فمنذ اكتشاف جينة بشرية مشيِّعة للورم السرطاني عام 1981، والمسماة **أنكوجينة** oncogene، صار العلماء أكثر يقينا بأن السبب الأولي للإصابة بالسرطان هو حدوث طفرات في جينات معينة نتيجة للتعرض للسموم أو الإشعاع أو عن طريق عمليات تصحيحية خاطئة للدنا DNA أو نتيجة أخطاء تحدث عند انتساخ الدنا قبل الانقسام الخلوي. وفي حالات نادرة نسبيا، تحدث طفرة مؤهبة للسرطان في جينة يرثها الفرد من أجداده.

وهذه الطفرات، أيا كان سببها، تؤدي إلى خلل في المسارات البيولوجية، بطرق تؤدي إلى نمو خلوي غير مضبوط، وهو صفة مميزة للسرطان. كما أنه من العلامات الأخرى للخباثة، مثل اختراق النُسُج المجاورة والانتقال إلى أجزاء أخرى في الجسم. كما أن بعض الطفرات قد تعطل بعض الجينات التي تقوم عادة بحماية

(*) MAPPING THE CANCER GENOME
(**) Overview/ Cancer Connections
(***) A Disease of Genes
(1) cellular genome أو المجين الخلوي
(2) Human Genome Project
(3) malignancy
(4) nucleotide bases



الجسم ضد السلوك الخلوي غير الطبيعي، في حين تعمل طفرات أخرى على زيادة نشاط الجينات المُمزِّقة. ومعظم الخلايا تتعرض على الأقل لبعض هذه التغيرات وذلك قبل أن تتحول إلى خلايا سرطانية ـ وهذه سيرورة قد تستغرق سنوات طويلة.

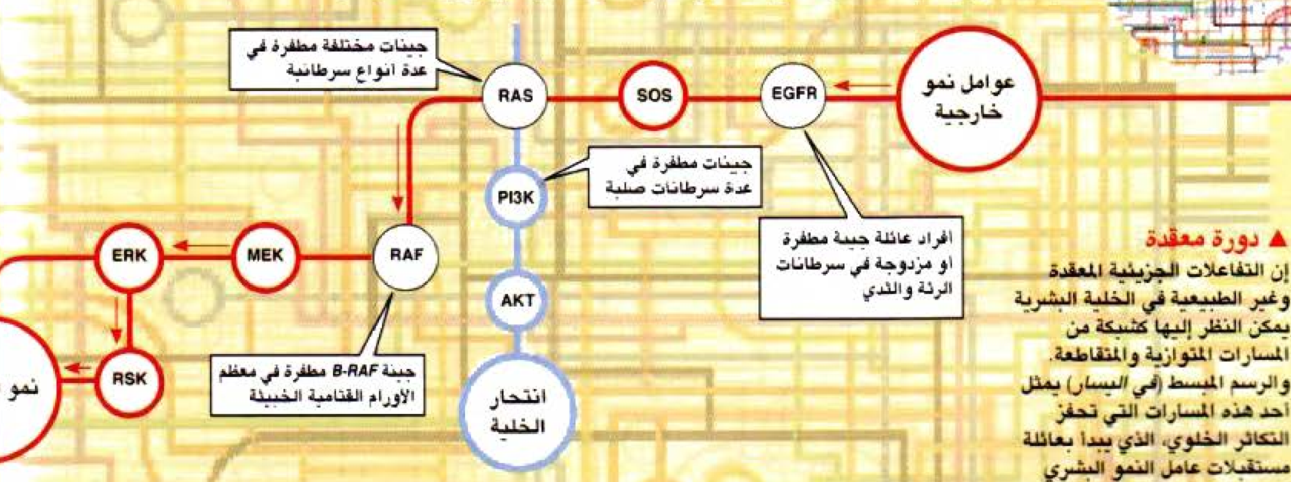
وعلى مدى العقدين السابقين قامت مجموعات بحثية كثيرة باستخدام طرق رائدة في مجال البيولوجيا الجزيئية، وذلك للكشف عن الطفرات في الجينات التي يمكن أن تؤثر في الأنماط الطبيعية للنمو والسلوك الخلويين. وقد نجحت أبحاث هذه المجموعات في اكتشاف نحو 350 جينة ثبت ارتباطها بالسرطان، مما أدى إلى تبصرات مهمة كثيرة حول هذا المرض ذي الطبيعة الشيطانية. وقد أعدّ فريق <M. ستراتون> [في المعهد W.T.S.I بكامبردج في إنكلترا] قاعدة بيانات أساسية لهذه التغيرات أسماها **كوزميك** COSMIC[1]. لكن ليس هناك من يتصور أنها القائمة الكاملة لتلك التغيرات.

لذا فالسؤال الذي يطرح نفسه هو: هل من المنطقي الاستمرار على نطاق محدود في اكتشاف التغيرات السرطانية في الجينوم، في

(1) the cataglogue of somatic mutations in cancer

مسارات عديدة مؤدية إلى السرطان(*)

إن الخلل الوظيفي للجينات يكمن وراء قدرة الخلايا السرطانية على تخطي جميع الضوابط المنظمة للسلوك الخلوي. ولأن البرو الناتجة من بعض الجينات تقوم بتنظيم وظائف بعض الجينات الأخرى، فإن طفرة(1) تسبب وقف أو زيادة نشاط جينة واحدة، ي أن تحدث عدة تأثيرات في توازن الخلية (كما هو مبين في الرسم أدناه). ومع ذلك تحتاج الخلايا عادة إلى أن تُلْجم عدة طفرات للسرطان، أو أنكوجينية (مكونة للورم) oncogenic، في عدة جينات منفصلة لتكتسب الخواص المميزة للخباثة (الإطار في ال وبتحديد جميع الجينات التي يمكن لتحويرها أن يولّد تلك الصفات المميزة إذا ما اكتشف يوما أي الطفرات التي تقود فع الإصابة بنوع معين من السرطان، يمكن تعيين أكثر الطرق فاعلية في مواجهة السرطان.



▲ دورة معقدة
إن التفاعلات الجزيئية المعقدة وغير الطبيعية في الخلية البشرية يمكن النظر إليها كشبكة من المسارات المتوازية والمتقاطعة. والرسم المبسط (في اليسار) يمثل أحد هذه المسارات التي تحفز التكاثر الخلوي، الذي يبدأ بعائلة مستقبلات عامل النمو البشري (EGFR) في الجدار الخلوي. وتنشيط أفراد هذه العائلة بوساطة مجموعة من عوامل خارج الخلية، يرسل إشارات إلى المزيد من الجينات والبروتينات، ما يؤدي في نهاية المطاف إلى تحفيز الخلية على «النمو» عن طريق الانقسام.

▲ طفرات أنكوجينية (مكونة للورم)
في جزء كبير من الأورام السرطانية في الرئة والثدي، تكون أفراد عائلة الجينات EGFR مُطفَّرة أو مضاعفة، وهذا يزيد من عدد أو وظائف المستقبلات التي تكوّدها، مما يمعن في تنشيط مسار النمو. كذلك فإن التغييرات في الجينة B-RAF المشاهدة في 70% من الأورام القتامية الخبيثة، يمكن أن تزيد من نشاط الخلية. والجينة RAS المطفرة في كثير من أنواع السرطان يمكنها أيضا التأثير في نمو الخلية وكذلك المسارات المتقاطعة. فمثلا، التدخل في برنامج انتحار خلوي من شأنه عادة تدمير الخلايا التالفة.

حين أن العالم يمتلك الآن الإمكانات التي تسمح بزيادة كبيرة في مجال وسرعة الاكتشاف؟ وفي السنوات الأخيرة، ظهر عدد من الأفكار والأدوات والتقانات التي أقنعت العديد من العقول الرائدة في مجال السرطان والبيولوجيا الجزيئية، بأنه آن الأوان لعمل جماعي، يتسم بالمنهجية والوضوح، في عمليات البحث المختلفة في **جينومية السرطان** the genomics of cancer.

وبالفعل أقام مشروع الجينوم البشري قاعدة تأسيسية للمشروع TCGA، وذلك عن طريق توفير التسلسل الجيني القياسي لثلاثة بلايين زوج من قواعد الدنا في جينوم النسج البشرية العادية. والمطلوب الآن هو مبادرة أخرى للبدء بمقارنة سلاسل الدنا والخواص الفيزيائية الأخرى للجينوم في خلايا عادية مع تلك السرطانية، وذلك لتحديد التغيرات الجينية الرئيسية التي تشكل ملامح السرطان الأساسية [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*]. وقد أوضح مشروع الجينوم البشري أهمية العمل الدولي الجماعي في البيولوجيا على نطاق واسع، وذلك لتجميع المصادر والإسراع في الاكتشافات العلمية. ويسعى المشروع TCGA لتحقيق مشاركات مشابهة.

وأخيرا، يمكن القول إن مشروع الجينوم البشري نجح في إحداث تقدم هائل يعتد به في التقانات المستخدمة لسلسلة وتحليل الجينومات. وعند بداية ذلك المشروع عام 1990، مثلا، كانت تكلفة سلسلة الدنا تزيد على 10 دولارات لكل زوج منتهٍ من القواعد النكليوتيدية، وتضاءلت هذه التكلفة حتى وصلت اليوم إلى أقل من «بني» واحد للقاعدة الواحدة. ومن المتوقع أن تنخفض التكلفة أكثر من ذلك مع ظهور طرائق أكثر تطورا لعملية السلسلة الجينية [انظر: «*جينومات للجميع*»، **العلوم**، العدد 10 (2006)، ص 20]. وبسبب هذه وغيرها من التقانات المتطورة المستخدمة في المشروع TCGA والتي كانت ضربا من الخيال في السنوات القليلة الماضية، وقد صارت اليوم أكثر الطرق فاعلية وأقلها تكلفة في تحديد العوامل الجينومية العديدة المرتبطة بالسرطان.

براهين مفهوم(**)

بالطبع فإن توافر أكداس من البيانات عن السرطان ليس ذا قيمة كبيرة من دون دليل على أن المعرفة الشاملة عن الأصل البيولوجي للسرطان قد أحدثت بالفعل أثرا واضحا في معالجة المصابين بهذا المرض. فكثير من التطورات العلمية الحديثة قد قدم بالفعل البرهان على أن تحديد تغيرات جينية معينة في الخلايا

Many Pathways to Malignancy (*)
mutation (1)
Proofs of Concept (**)

واصفات تمييزية للسرطان

التغيرات غير الطبيعية الست التالية مجتمعة تمنح السرطان قوته القاتلة التي تنقله من النسيج الذي نشأ فيه إلى باقي أجزاء الجسم

اكتفاء ذاتي في مؤشرات النمو
تقوم الخلايا السرطانية بتكبير **إيعازات** cues النمو الخارجية أو تُصدر إيعازات خاصة بها

عدم التأثر بالإيعازات المضادة للنمو
تصبح الخلايا السرطانية صماء، فيما يختص بإيعازات التسكين الصادرة عن الأنسجة المجاورة

تفادي انتحار الخلايا
تقوم بالتغلب على الآليات التي تستحث أو تنفذ برنامج التدمير الذاتي في الخلايا التالفة

قدرة لانهائية على الانتساخ
تتخطى الخلايا السرطانية من الحدود الفعلية على عدد المرات التي يمكن للخلية الطبيعية أن تنقسم فيها

استقدام للأوعية الدموية
تقوم الأورام السرطانية ببث إشارات من شأنها تعزيز تطوير أوعية دموية جديدة تمدها بالأكسجين والمغذيات

انتشار وتنقل سريعان
تتغلب الخلايا السرطانية إلى العديد من الإشارات والقوى المسؤولة عن استقرار الخلية في مكانها وعدم انتقالها أو اقتحامها لنسج أخرى.

مقتبس من الواصفات التمييزية للسرطان، منشورة في مجلة الخلية، العدد 100، الشهر 1/2000.

تجزئة خلايا سرطان الرئة

السرطانية يمكن بالفعل أن يؤدي إلى تحسين طرق التشخيص والعلاج والوقاية من هذا المرض. وهذه التطورات توافر لمحات مشجعة عما هو آت. وتبين أيضا كيف أن الخطوات نحو الأهداف المرجوة هي فعلا معقدة ومكلفة وتحتاج إلى وقت طويل.

وفي عام 2001، عندما بدأ **المعهد** W.T.S[1] باستخدام التقانات الخاصة بالجينوم لاستكشاف السرطان، كان أول تطبيق للمشروع هو الاستخدام الأمثل لنظم المعلومات في عمليات تشمل تحديد التسلسل الجيني لعشرين جينة في 378 عينة سرطانية. لكن مجموعة البحث توصلت بعد عام إلى اكتشاف مهم، وهو حدوث طفرة في جينة سميت B-RAF، وذلك في 70% من حالات الأورام القتامية الخبيثة التي جرت دراستها. وقد أدى ذلك إلى توجيه أنظار العديد من الباحثين إلى هذا الاكتشاف باعتباره هدفا جديدا يمكن أن يحقق علاج أكثر أنواع سرطانات الجلد تسببا في الوفاة. لذا جرت دراسة العديد من المحاولات ابتداء من الأدوية الكيميائية الكلاسيكية المعروفة حتى الجزيئات التداخلية الصغيرة **للحموض الريبونيوكليكية**[2] في كل من فئران التجارب أو **الخطوط الخلوية**[3] التجريبية، وذلك للتأكد مما إذا كانت هذه الاعتراضات والتداخلات قادرة على إيقاف أو الحدّ من نشاط الجينة B-RAF أو تثبيط بروتين، يسمى ميك MEK، يجري إفرازه بكميات غزيرة نتيجة لحدوث الطفرة في هذه الجينة. ولم تنقض خمس سنوات حتى أن أكثر الطرق العلاجية الواعدة كانت قد دخلت بالفعل في مرحلة الاختبارات السريرية.

وقد قامت مجموعات بحثية أخرى بدراسة التغيرات الطفرية في جينات معروفة بارتباطها بسرطانات، مثل سرطان الثدي والقولون وسرطانات الدم والغدد الليمفاوية وغيرها، وذلك لتطوير الطرق البيولوجية المستخدمة في تشخيص الأمراض والتكهن بحدوثها، كاستجابة مريض بعينه لنوع محدد من العلاج، وكذلك تطوير طرق العلاج واستخدام أحدثها.

فمثلا، إن الدواء **كليفك** Gleevec يقوم بتثبيط إنزيم يجري إفرازه بواسطة جينة مطفرة مكونة من التحام جينتين هما BCR وABL، وهي التي تسبب سرطان الدم **الميلوكوني**[4] المزمن. وقد أظهر هذا الدواء أثرا فعالا في علاج هذا النوع من السرطان، وكذلك في علاج سرطانات أخرى أكثر تعقيدا من الوجهة الجينية، مثل **الورم السدري**[5] للجهاز الهضمي وأنواع أخرى نادرة نسبيا تشتمل على إنزيمات مشابهة. و**الهيرسيبتين** herceptin، وهو مركب يستهدف بروتينا يسمى HER2، أثبت نجاحه في معالجة سرطان الثدي، حيث تجري عملية تكاثر غير عادية للجينة HER2 تتسبب في زيادة في إفراز البروتين المستقبل.

كما تمت دراسة تأثير أدوية مثل **إيريسا**[6] و**تارسيفا**[7] في علاج سرطان الرئة، والدواء **أفاستين**[8] في علاج سرطان الرئة والقولون وغيرها، وذلك عن طريق وضع استراتيجيات لاختيار خطط علاجية مبنية على تغيرات طفرية في الجينات المعنية. مثل هذه التطبيقات، سواء في التشخيص أو التكهن بسير المرض أو علاجه، هي بالطبع عمل مهم، غير أنه مازال بعيدا عما يجب أن يكون عليه حتى ينجح الباحثون في الجامعات وفي القطاع الخاص في التوصل إلى الأطلس الكامل **للتغيرات الجينومية**[9] السرطانية.

وتوضح دراسة أجراها بعض الباحثين [في جامعة جونز هوپكنز] قدرة الجينوميات الواسعة النطاق من أجل الكشف عن الخلايا السرطانية، كما توضح كيف ستكون ضخامة تعهد إنجاز أطلس جينوم سرطاني. فقد قاموا بتحديد التسلسل الجيني لنحو ثلاثة عشر ألف جينة في عينات من نسيج سرطاني أُخذت من إحدى عشرة حالة من كل من سرطان القولون والثدي. وقد أعلنوا عن وجود تغيرات طفرية مهمة في نحو مئتي جينة مختلفة. ومن المعروف أنه تم إثبات وجود علاقة بين نحو اثنتي عشرة فقط من هذه الجينات وبين هذين النوعين من السرطان (الثدي والقولون) ويتوقع معظم العلماء اكتشاف عدد من الجينات أكثر من ذلك قليلا.

ومن التحديات الأساسية التي تعترض الباحثين أثناء سلْسَلة جينومات الخلايا السرطانية هو صعوبة التمييز بين التغيرات الطفرية في العينات السرطانية المرتبطة بالسرطان والأخرى التي ليس لها علاقة بالسرطان. كما أنه قد لوحظ في دراسات سابقة

(1) Wellcome Trust Sanger Institute
(2) ribonucleic acids
(3) cell lines
(4) myelogenous أو myelogenic نقوي المنشأ = منتج في نقي العظام.
(5) stromal tumor
(6) Iressa
(7) Tarceva
(8) Avastin
(9) genomic changes

للسلسلة الجينية وجود قليل من التشابه في التغيرات الطفرية الموجودة في الأنواع المختلفة من السرطانات، بل إنه لوحظ أيضا وجود بعض الاختلافات الواضحة في نمط التغيرات الطفرية في العينات المأخوذة من المصابين بنفس نوع السرطان. وقد أكدت هذه الملاحظات فكرة أن تحول خلية طبيعية إلى أخرى سرطانية هو نتاج تجمع عدة أنواع مختلفة من التغيرات الطفرية؛ ولذلك فإن الملامح الجينية المميزة لكل نوع من الأورام السرطانية قد تختلف كثيرا بين المصابين بالسرطان على مستوى الجسم الواحد أو العضو الواحد أو حتى النسيج الواحد.

ولكي نتمكن من تحديد المدى الكامل لما يأمل المشروع TCGA في إنجازه، يجب الأخذ في الاعتبار التعقيدات المكتشفة أثناء المحاولات السابقة وتصور أن يمتد العمل ليشمل أكثر من مئة نوع من السرطان. غير أن أعضاء المشروع TCGA وغيرهم من العلماء الرواد في هذا المجال من جميع أنحاء العالم، مصممون على العمل جاهدين في هذا المضمار لاعتقادهم أن الفرصة الكبرى في إنقاذ أرواح مرضى السرطان تكمن وراء كشف متاهات الجينوم السرطاني.

ومع أنه قد تنقضي عدة سنوات قبل أن يصل الباحثون في هذا المجال إلى إتمام الكتالوك التوضيحي الكامل الذي يضم جميع التغيرات الطفرية في الجينوم البشري المسؤولة عن تحول الخلية الطبيعية إلى أخرى سرطانية، إلا أنه يمكن الاستفادة من النتائج المبدئية التي تم التوصل إليها، في تطوير أساليب علاج السرطان. فمع كل نوع جديد من السرطان تتم دراسته ضمن المشروع TCGA يكتشف الباحثون أهدافا ومميزات جديدة للجينوم تتيح لهم الفرصة لتطوير أساليب علاجية أكثر ملاءمة للسرطان.

تأليف أطلس ضخم[**]

أثبتت الخطة المرحلية نجاحها في بداية مشروع الجينوم البشري، وقد تركزت في اختبار البروتوكولات والتقانات قبل التدرج في الوصول إلى «**إنتاج» سلسلة دنوية كاملة**[4]. وبالمثل، بدأ المشروع TCGA بعمل دراسة مبدئية لتطوير واختبار الإطار العلمي المطلوب للوصول إلى المسح الكامل للجينوم وعمل خارطة تضم جميع التغيرات غير العادية في الجينوم والمتعلقة بحدوث السرطان.

وفي عام 2006، قام كل من المعهد الوطني للأورام والمعهد الوطني لأبحاث الجينوم البشري باختيار الفرق العلمية والإمكانات التي ستسهم في دراسة الأنواع المختلفة للسرطان، وذلك من خلال هذا المشروع المبدئي. وفي خلال الثلاث سنوات المقبلة سيقوم المعهدان المذكوران بتخصيص مئة مليون دولار لتأليف أطلس يضم التقديرات الجينية في ثلاثة أنواع من السرطان، وهي سرطانات المخ والرئة والمبيض. ولقد تم اختيار هذه الأنواع الثلاثة للسرطان لعدة أسباب، منها أنه يمكن اعتبارها مثالا عياريا لإمكانية تعميم هذا المشروع على أكبر عدد من الأنواع السرطانية. وبالفعل، إذا نجحت هذه المرحلة

(*) Genes and Cancer

(1) aberrant features

(2) nonviral gene

(3) oncogene جينة ورمية (مكونة للورم)

(4) full DNA sequence "production"

(**) Compiling a Colossal Atlas

(5) methylation of DNA

الجينات والسرطان[*]

قبل أكثر من مئة عام، لاحظ البيولوجي الألماني <Th. بوفيري> وآخرون العلاقة بين التغيرات الجينية غير العادية و**المعالم المنحرفة**[1] للخلايا السرطانية. ولكن على مدى العقود القليلة الماضية بدأت تترسخ فكرة أن التغيرات الجينية هي السبب المباشر في السلوك المنحرف للخلايا السرطانية. ومنذ عام 1986 طُرحت ضرورة سلسلة جينوم بشري عادي، وذلك من أجل دراسة تغيرات الجينوم السرطاني بصورة أكثر وضوحًا. وقد تم الانتهاء من مشروع الجينوم البشري عام 2003، وسيبدأ في هذا العام مشروع أطلس الجينوم السرطاني بتجميع التغيرات الطفرية في الجينات الموجودة في ثلاثة أنواع من السرطان.



<Th. بوفيري>

1914 - 1890

أشارت دراسة التوزّع غير العادي للكروموزومات أثناء الانقسام الخلوي، إلى أنه قد يكون لهذا التوزع دور في إحداث السرطان.



من خمسينات إلى ستينات القرن الماضي

كشفت عدة أبحاث عن أن الفيروسات قد تسبب السرطان عن طريق إدخال جيناتها في الخلايا.



1960

تم اكتشاف أول خلل جيني يرتبط بنوعية معينة من السرطان، ويسمى هذا الخلل كروموزوم فيلادلفيا. وقد اكتشف في خلايا سرطان الدم المزمن **الميلوكوني (النقوي المنشا)** myelogenous.

1976

اكتشف العلماء أن **الجينة اللافيروسية**[2] (SRC) الموجودة في الخلايا الحيوانية قد تسبب السرطان.

1979

تم اكتشاف الجينة *P53* التي ثبت فيما بعد أنها أكثر الجينات المطفرة وجودا في السرطانات التي تصيب الإنسان.

1981

RAS-H هو أول **أنكوجين**[3] بشري تم اكتشافه (وهي جينة تسبب التغيرات فيها الإصابة بالسرطان).

1983

من المتوقع أن التغير في عملية **تمثيل الحمض النووي**[5] قد يؤثر في التنشيط الجيني الموجود في الخلايا السرطانية.

1986

نادى <R. دولبيكو> في مقالة نشرت في المجلة *Science* بضرورة سلسلة الجينوم البشري من أجل تقدم أبحاث السرطان.

1986

اهتمت وزارة الطاقة (في الولايات المتحدة) بسلسلة الجينوم البشري لإنجاح دراسة تأثيرات الإشعاع.

1986

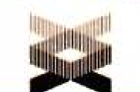
تم اكتشاف أول جينة مثبطة للسرطان (*RB1*).

1987

وجد أن الجينة المكونة من التحام الجينتين *BCR* و *ABL* بالكروموزوم فيلادلفيا تسبب سرطان الدم المزمن الميلوكوني (النقوي المنشا) (CML).

1990

ساعد نموذج توليد السرطان عن طريق سلسلة من الخطوات، على توضيح الدور الذي تؤديه تراكمات التغيرات الجينية في عملية التحول الخلوي إلى الخباثة.



1990

بدء مشروع الجينوم البشري.

▶ نموذج گليڤيك

1993

بدأت المراحل التجريبية ما قبل السريرية على دواء عرف فيما بعد باسم گليڤيك، وهو أول دواء تم إعداده لاستهداف مسبب جيني معروف لسرطان معين.



1999

أمكن لملامح النشاط الجيني أن تبين لأول مرة الفرق بين أنماط السرطان وأن تتنبأ بالاستجابة إلى العلاج الكيميائي للسرطان.

2001

حاز دواء گليڤيك موافقة إدارة الغذاء والدواء (FDA) الأمريكية.

2002

اكتشف معهد «ويلكم تراست سنجر» من خلال بحث عن الجينوم السرطاني وجود تغير طفري في الجينة B-RAF في 70% من الأورام القتامية الخبيثة.

2003

استكمال مشروع الجينوم البشري.

2005



أعلنت المعاهد الوطنية للصحة (NIH) عن المشروع الاستطلاعي لأطلس جينوم السرطان (TCGA).

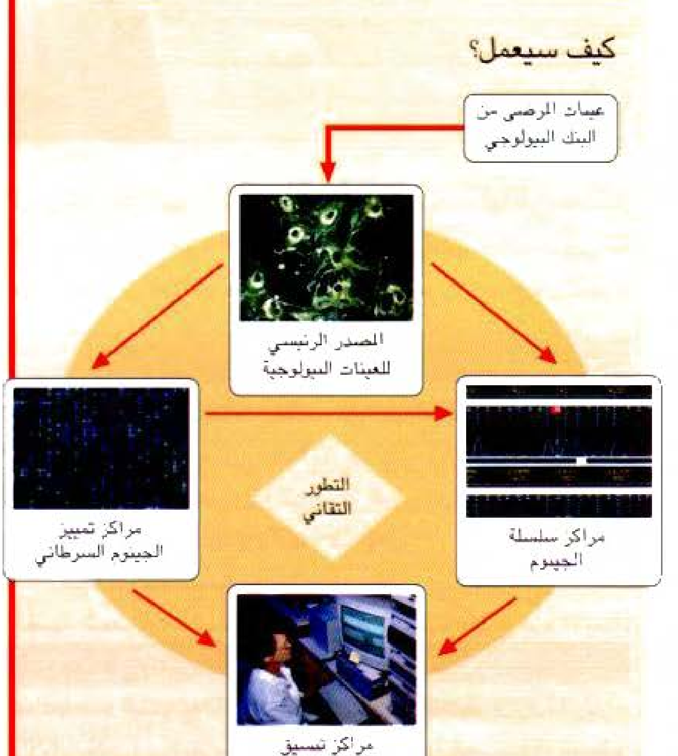
2006

أعلن المشروع الاستطلاعي TCGA عن أسماء المشتركين بالمشروع، وعن ثلاثة أنواع من السرطان لسَلْسَلتها وتحليلها جينيا.

2010 - 2007

سيعمل المشروع TCGA على جمع وتحليل العينات السرطانية الواردة من البنوك (المختزنات) البيولوجية الرئيسية الخاصة بمراكز معالجة مرضى السرطان. والأركان الأساسية الأربعة للمشروع هي: المصدر الرئيسي للعينات البيولوجية، سبعة مراكز لتمييز الجينوم السرطاني، ثلاثة مراكز للسَّلْسَلة الجينية، مركز لتنسيق المعلومات. وتتعاون هذه الأركان لاختبار الطرائق والتقانات المختلفة ومن ثم لجعل المعلومات المستخلصة في نهاية المطاف في متناول المجتمع البحثي الأوسع.

كيف سيعمل؟



التجريبية في تحقيق أهدافها عندئذ فقط يستطيع المعهد الوطني للأورام المضي قدما في تنفيذ مشروع إصدار أطلس كامل للسرطان.

ويقدر عدد الحالات المصابة بالأنواع الثلاثة للسرطان التي تم اختيارها في هذه المرحلة التجريبية بأكثر من 210 000 حالة سنويا بالولايات المتحدة الأمريكية، والتي تسببت في وفاة 91 000 حالة عام 2006. وطبقا للقواعد العلمية والتقنية والأخلاقية المتبعة في أخذ العينات بالنسبة إلى هذه الأنواع الثلاثة من السرطان، قامت المعاهد العلمية المعنية بالإعلان عن تحديد ثلاثة **بنوك بيولوجية**(1) للتزويد بتلك العينات وبأية عينات سرطانية جديدة في حالة الحاجة إليها، وللتزويد أيضا بأجزاء من النسيج الطبيعي المجاور للورم مأخوذة من نفس المرضى، وذلك للمقارنة. وتقوم هذه المجمعات البيولوجية بإرسال العينات المعنية إلى المصدر الرئيسي للعينات البيولوجية، وهو واحد من المكونات الأساسية الأربعة للمشروع **الاستطلاعي**(2) TCGA.

وتمثل مراكز تمييز الجينوم السرطاني وCGCC ومراكز سَلْسَلة الجينوم ومراكز تنسيق المعلومات المكونات الأساسية الأخرى للمشروع (*انظر الشكل في أسفل يسار هذه الصفحة*). وتتعاون هذه المجموعات جميعها وتتبادل المعلومات بجدية تامة. وبالتحديد تقوم مراكز تمييز الجينوم السرطاني السبعة باستخدام عدد كبير ومتنوع من التقانات لدراسة مستويات الأنشطة المختلفة للجينات في العينات السرطانية لاكتشاف وحصر التغيرات الجينية ـ على نطاق واسع ـ التي تسهم في تطور السرطان. وتشمل هذه التغيرات إعادة ترتيب الكروموزومات (الصِّبغيّات) والتغيرات في أعداد النسخ الجينية و**التغيرات الإيبجينية**(3) epigenetic، وهي التغيرات الكيميائية في **شريط الدنا**(4) التي من شأنها توقيف أو إعادة النشاط الجيني من دون تغيير فعلي **للتسلسل الجيني للحمض النووي**(5).

وتصبح الجينات وغيرها من مناطق الكروموزومات المهمة، المحددة من قبل مراكز تمييز الجينوم السرطاني، أهدافا لسَلْسَلة الجينوم من قبل المراكز الثلاثة لسلسلة الجينوم. كما أن العائلات الجينية المتوقع ثبوت أهميتها في السرطان، مثل التي **تكوِّد**(6) الإنزيمات المعنية بالتحكم في الدورة الخلوية والمسماة **تيروسين كيناز** tyrosine kinases و**الفسفاتاز** phosphatases، ستتم سَلْسَلتها لتحديد مواضع الطفرات الجينية وغيرها من التغيرات على نطاق ضيق في **كودها الدَّنَوي** DNA code. وحاليا نتوقع أن سلسلة نحو 2000 جينة ـ في كل واحدة منها نحو 1500 عينة سرطانية ـ ستتم في هذا المشروع الاستطلاعي. وبالطبع فإن تحديد العدد المضبوط يتوقف على العينات التي يمكن الحصول عليها وما سيتم اكتشافه عن هذه العينات من قبل مراكز تمييز الجينوم السرطاني.

ومن المتوقع أن كلا من مجموعتي التسلسل الجيني والتمييز الجيني واللتين كان من بين أعضائهما كثيرون ممن شاركوا في مشروع الجينوم البشري، ستواجه تعقيدات أكثر بكثير مما ستواجهه في دنا DNA الخلايا العادية، حيث تصبح أكثر عرضة

(1) biorepositories (2) pilot

(3) تغيرات ناجمة عن تأثيرات خارجية أكثر من كونها جينية، فهي لاجينية بشكل عام.

(4) DNA strand (5) DNA sequence أو السَّلْسلة الدَّنَوية

(6) encode

حان وقت الانتقال من الجينوم إلى السرطان(*)

<R. دولبيكو>

في عام 1986، عندما اقترحت مشروعًا جديدًا لتحديد جميع الجينات البشرية، كان أحد أهدافي هو إيجاد الجينات المسببة للسرطان وكان ذلك بمثابة مغامرة أملت أن تؤدي إلى اكتشاف تقنيات جديدة للبحث في مجال السرطان، وفي نهاية المطاف لاكتشاف وسائل علاج جديدة فعالة. وبالفعل أثمر المشروع الأساسي للجينوم البشري عن اكتشاف جينات لها علاقة بأمراض عديدة، منها السرطان. فضلا عن ذلك، طُبقت عملية سلسلة الجينوم على كائنات حية غير الإنسان، ابتداء من **البكتيرات**(1) إلى الشامبنزي، وقد دللت على **وحدة الحياة**(2) بأن كشفت عن مدى ما يشترك فيه العديد من جينات كائنات حية متباعدة.

ومن خلال هذا العمل زودتنا التقانات الجديدة بكثير من التفاصيل لفهم أفضل للسيرورات المعقدة التي تُنشئ وفقها الجيناتُ جزيئات فعالة. ونتيجة مهمة لهذا البحث، هي إدراك أن الجينات لا تعمل وحدها، بل من خلال شبكة واسعة من النشاط داخل الخلايا: وإن أي تغير في عمل واحدة من هذه الجينات يحدث تغيرات في أداء العديد من الجينات والبروتينات التي تؤثر في إعالة الخلايا لذاتها.

ومن المعروف أن تحول الخلية العادية إلى أخرى سرطانية يكون نتيجة فقد تدريجي **للتحكم الذاتي الخلوي**(3) بسبب التغيرات الفيزيائية أو الطفرية، أو في بعض الجينات بسبب التغير الذي يحدث في العديد من الجينات الأخرى المتحكمة في نشاط الخلية، وبذلك يمكن تحديد مسؤولية جينات بعينها عن بدء الإصابة بالسرطان؛ ومن ثم يمكن اعتبار هذه الجينات أهدافًا لإيجاد وسائل علاجية جديدة. ولحدوث الحالات السرطانية المتقدمة (مثل الانتكاسات الحادة لسرطان الدم **الميلودي**(4) المزمن والحالات السرطانية الأخرى المنتشرة)، لا بد من مشاركة العديد من الجينات الأخرى؛ وأكثرها مازال غير معروف حتى الآن.

على أن هناك ظاهرة استثنائية تم اكتشافها حديثا، حيث تتسبب التغيرات الطفرية في الجينوم الخلوي في إيقاف نشاط الأُنكوجين، مما يؤدي إلى انتحار الخلية من خلال عملية موت منظمة تُسمى أپوپتوسيس apoptosis. ولكن مدى شيوع هذه الظاهرة مازال مجهولا. وللإجابة عن هذه الأسئلة لابد من أن يكون لدينا سجل كامل بالتغيرات في تكوين ونشاط الجينات وبعض المكونات الخلوية الأخرى المتسببة في غياب الانتظام في الخلايا السرطانية. وهذا هدف آخر يجب تحقيقه مستقبلا.

وعلى الطريق لتحقيق هذا الهدف يمكن البحث في دور الخلايا الجذعية في السرطان. فقد لوحظ بعض أوجه الشبه بين سلوك الخلايا الجذعية والخلايا السرطانية. فكلتا الخليتين تظهران قدرة لامحدودة على الانقسام، ولكلتيهما حساسية عالية **للبيئة الخلوية**(5)، كما أنهما تحتويان على الجينات المنشطة نفسها.

ينتج السرطان من الفقدان التدريجي لعملية التحكم الذاتي الخلوي.

لقد أتاحت **الجينومية** genomics تبصرات حول الآليات التي تتحول بواسطتها الخلايا العادية إلى أخرى سرطانية، وإن ظلت الصورة غير واضحة تماما حتى الآن. وقد حان الوقت لتجنيد كافة الإمكانات الحديثة المتوافرة في الجينومية والبيولوجيا الجزيئية للحصول على سجل شامل بالفعل للجينات المتسببة في الإصابة بالسرطان، وهذا هو ما يهدف إليه مشروع أطلس الجينوم السرطاني.

المؤلف

Renato Dulbeco

هو رئيس شرفي لمعهد سولك Salk للدراسات البيولوجية، وحائز على جائزة نوبل بالمشاركة عام 1975 في علم وظائف الأعضاء (الفيزيولوجيا)، لاكتشافاته المتعلقة بالتفاعل بين الفيروسات السرطانية والمادة الجينية للخلية.

لمعدل أكبر من التطفر، نتيجة للقصور الذي يحدث لها في خاصيتي التحكم الذاتي وآلية الإصلاح الذاتي. لذا فالبناء الجينومي لكل خلية يمكن أن يختلف كثيرا في الورم الواحد، ويصبح من المهم أن تقوم المجموعات البحثية بتطوير أساليب قاطعة لتمييز فعلي بين «إشارة» لطفرة مهمة ممكنة بيولوجيا وبين «ضجيج» طفرات الخلفية العالية المعدل الملاحظ في كثير من الأورام السرطانية. كما أن الأورام السرطانية تحتوي دائما تقريبا على خلايا غير سرطانية قد **تخفف** dilute العينة. وإذا كان دنا الورم المراد سَلْسلته كثير التباين، فإن بعض الطفرات المهمة قد تُغفل.

وتبعا لتوجهات مشروع الجينوم البشري وغيره من الأبحاث الطبية الحديثة الخاصة بالجينات سيتم وضع نتائج هذه الأبحاث جميعها في متناول القائمين بالأبحاث في هذا المضمار. ولزيادة فائدة هذه النتائج لكل من الباحثين الأكاديميين والسريريين (الإكلينيكيين) وبالطبع لكل مسؤولي الرعاية الصحية، سيقوم المشروع TCGA بربط بيانات السَّلْسلة والتحليلات الجينومية بمعلومات حول الصفات المشاهدة والمميزة للورم السرطاني الأصلي، وكذلك المصير السريري للمريض صاحب العينة. هذا وإن تطوير جميع أدوات **المعلوماتية البيولوجية** bioinformatic لجمع ومكاملة وتحليل الكم الهائل من البيانات، مع الحفاظ على سرية المعلومات الخاصة بالمرضى، هو أيضا عقبة أخرى يجب تخطيها لتتحول رؤيتنا إلى واقع حقيقي.

مجال مجهول المسالك(**)

إن الطريق إلى تحقيق ما نهدف إليه في هذا المجال محفوف بالتحديات العلمية والتقانية والتغيرات السياسية ـ بعضها مازال غير معروف بعد. ومن بين التساؤلات المطلوب الإجابة عنها: هل التقانات الجديدة لسَلْسلة الجينوم ستحقق الهدف منها في الوقت المطلوب بحيث يكون المجهود المبذول ذا قيمة اقتصادية؟ وكم من الوقت ستستغرقه عملية تطوير الإمكانات المتوافرة وتطبيقها بصورة منظمة لاكتشاف التغيرات **الإيبجينية** epigenetic، وكذلك التغيرات

(*) From Genome to Cancer - Why the Time Is Right
(**) Uncharted Territory
(1) جمع بكتيرة
(2) unity of life
(3) cellular self-control
(4) myeloid
(5) cellular environment

الجينومية الواسعة النطاق المرتبطة بالسرطان، وبخاصة تلك المتعلقة **بانتقال المرض** metastasis؟ وكيف يمكننا تسخير قوة **البيولوجيا الحاسوبية** computational biology لتكوين **بوابات** portals إلى قاعدتها البيانية، بحيث يمكن أن يستفيد منها البيولوجيون الأكاديميون والباحثون السريريون وكذلك المسؤولون عن الصحة في الصفوف الأمامية؟ كيف يمكننا موازنة حقوق الملكية الفكرية بحيث تؤدي إلى ترقية البحث الأكاديمي وتطوير طرق العلاج؟ ومتى سيتمكن الكونگرس من سنِّ **قانون ضد التمييز الجيني**⁽¹⁾، بحيث سيكون للمعلومات المكتسبة عبر المشروع TCGA أكبر قدر من التأثير الايجابي في صحة الأمريكيين؟ وتستمر قائمة التساؤلات.

ولتجنب التوقعات الخاطئة، لابد من الوضوح بخصوص التساؤلات التي لا يمكن لهذا المشروع أن يجيب عنها. فمع أن المشروع TCGA يُعد مصدرا مهما لنطاق واسع من الاستكشافات البيولوجية، إلا أنه مجرد قاعدة للبحث المستقبلي في السرطان. وهذا البحث مازال غير مكتمل وباستعراض العدد الكبير من المواقع الشاغرة على خارطة المعلومات الجينية الحالية حول السرطان، فإن توقع ملء هذه الشواغر أمر مبهج ولكنه محبط في الوقت نفسه فالعلماء والجمهور في حاجة ماسة إلى معرفة غير قابلة للشك أن هذا الاقتحام غير المسبوق في مجال عمل خارطة جزيئية يتطلب سنوات عديدة من العمل الشاق والحلول الابداعية للعديد من المشكلات من قبل الآلاف من العلماء من مختلف المجالات العلمية.

فحتى اليوم، مازالت الرؤية غير واضحة تماما بخصوص ما ستسفر عنه جميع هذه الأبحاث ومن أجل مرضى السرطان ومن سوف يصابون به. نأمل أن يفوق ما ستحققه الأبحاث البيولوجية من إنجازات حول السرطان، خلال القرن الحادي والعشرين، جميع توقعات وأحلام «ريناتو دولبيَكو». ■

(*) Targeting Gene Changes in Cancer
(1) genetic nondiscrimination legislation

المؤلفان

Francis S. Collins · Anna D. Barker

هما رائدا مشروع أطلس الجينوم السرطاني «كولينز» هو مدير المعهد الوطني لأبحاث الجينوم البشري، وقد استطاع بفضل إدارته لهذا المشروع إتمام السلسلة الجينية للحمض النووي (DNA) للإنسان «باركر» هي رئيس هذا المعهد، وكانت ترأس أيضًا فريق الأبحاث الخاصة بتطوير الدواء والتقنيات البيولوجية في القطاعين العام والخاص، من أجل مكافحة السرطان.

مراجع للاستزادة

The New Era in Cancer Research. Harold Varmus in *Science*, Vol. 312, pages 1162–1165; May 26, 2006.

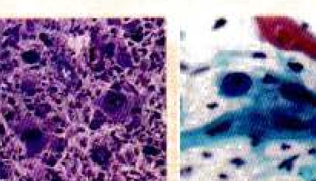
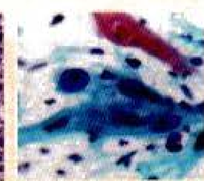
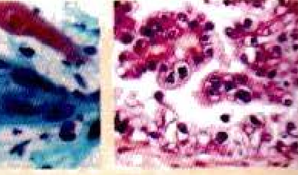
The Consensus Coding Sequences of Human Breast and Colorectal Cancers. Tobias Sjöblom et al. in *Science*, Vol. 314, pages 268–274; October 13, 2006. [Published online September 7, 2006.]

The Cancer Genome Atlas: **http://cancergenome.nih.gov**

Scientific American, March 2007

استهداف التغيرات الجينية في السرطان⁽*⁾

ستقوم مجموعات البحث الاستكشافي (TCGA) بفحص الحمض النووي (الدنا) لألف وخمسمئة عينة سرطانية من مرضى سرطانات الرئة والمبيض والمخ، وذلك لكشف التغيرات الجينية. ويتوقع سلْسلة جينية لما يقرب من ألفين جينة مريبة في كل عينة لتحديد تغيرات طفرية معينة. وسيتم عمل قائمة بالجينات المستهدفة في كل نوع من هذه السرطانات. وفي الأغلب، ستقوم بتحديد هذه الجينات معاهد تمييز الجينوم البشري (C.G.Ch) من العينات التي لديها، وستضم القائمة أيضا الجينات المرتبطة بالسرطان والتي سبق تعرفها.

من اليسار إلى اليمين: سرطان الأرومات الدبقية **glioblastoma (ويحدث غالبا في المخ عند البالغين)، سرطان الرئة، سرطان المبيض**

المجموعات الجينية	أمثلة
جينات مصنفة من قبل المعاهد TCGA بأن الخلل فيها يكمن في تكوينها أو النشاط في عدد كبير من العينات السرطانية.	في بعض عينات أورام المخ، يكون **التكويد الجيني** gene encoding للبروتين **داخل الخلايا** intracellular (NF-KAPA B) أنشط كثيرا مما هو في نسيج مخي عادي.
أنكوجينات (جينات ورمية) معروفة جيدا (جينات تتسبب زيادة نشاطها أو تغيراتها في السرطان).	• جينات مستقبلة عامل نمو: *HER2* (سرطانا الثدي والرئة)، *EGFR* (سرطانا الرئة والقولون). • جينات بروتين مؤشرة: *BCR-ABL* (سرطان الدم الميلوگوني المزمن)، *RAS* (في كثير من السرطانات)، *B-RAF* (سرطان الجلد). • **مُنَظمات** regulators موت الخلية: *BCL-3* (الأورام الليمفاوية).
كابتات suppresors للأورام معروفة جيدا (وهي جينات تحمي الخلايا من التحول السرطاني، إلا إذا فقدت هذه الخاصية نتيجة تغيرات طفرية).	• متحكمات في الانقسام الخلوي: *RB1* (ورم العين رُتَينوبلاستوما). • **المصححات الدَّنَوية** DNA repaires: *HNPCC*(سرطانا القولون والرحم). • **مُحَضِّضات** promoters الانتحار: *P53* (سرطانات الرئة والقولون والثدي والمخ).
جينات متعلقة بأنكوجينات (جينات ورمية) معروفة وبجينات كابتة للأورام، وذلك بالتشابه أو الاشتراك في المسارات الخلوية.	إن الأنكوجينات (الجينات الورمية) *HER2* و *EGFR* هي جزء من عامل النمو **البشروي** epidermal مستقبل مؤشر المسار، الذي يحتوي على الأقل على 6 جينات أخرى يُظن أنها تؤدي دورا محوريا في تطور السرطان.

الألوان الخادعة والدماغ(*)

توحي خداعات بصرية جديدة بأن الدماغ لا يفرق بين إدراك الألوان وإدراك الأشكال والأعماق.

<J .S ويرنر> ـ <B. بينا> ـ <L. سبيلمان>





تلقي أوراق الخريف والانعكاسات في مياه الينبوع ضوءا قويا على الطريقة التي تسهم بها الألوان في الإدراك الحسي للأشياء، إذ يختفي الكثير من العمق والتفاصيل في النسخة بالأبيض والأسود للمشهد نفسه.

إن عالما بلا ألوان يبدو مفتقدا لعناصر مهمة. وهو هكذا بالفعل. فالألوان لا تمكننا فقط من رؤية العالم بدقة أكثر، ولكنها أيضا تضفي إليه خواصّ ناشئة عنها قد لا توجد من دونها. فالصورة الفوتوغرافية التي بالألوان في هذه *الصفحة*، على سبيل المثال، تظهر فيها الأوراق النباتية الخريفية في المياه الهادئة الرائقة لينبوع ومعها الصور المنعكسة للأشجار ولسماء الأصيل الداكنة الزرقة من خلفها على الماء. أما في الصورة الفوتوغرافية بالأبيض والأسود للمشهد نفسه، فإن الأوراق النباتية تبدو أقل وضوحا، وتكون السماء الداكنة الزرقة غائبة وانعكاسات الضوء ضعيفة، وتصعب رؤية المياه نفسها. وتختفي تماما الفروق في العمق الظاهر في ما بين السماء، والأشجار والأوراق النباتية الطافية.

ولا يزال هذا الدور الذي يؤديه اللون وحتى الطبيعة الحقيقية للون غير مدركين جيدا. ويعتقد كثير من الناس أن اللون خاصية مميزة وأساسية للأشياء تعتمد كلية على الأطوال الموجية المعينة للضوء المنعكس منها. ولكن هذا الاعتقاد خاطئ، فاللون هو إحساس يحدث أو يتخلق في الدماغ: إذ لو كانت الألوان التي ندركها بحواسنا تعتمد فقط على الطول الموجي للضوء المنعكس منها لبدا أن ألوان الأشياء تتغير تغيرا مثيرا مع التغيرات التي تحدث في الإضاءة خلال النهار وفي الظلال. ولكن بدلا من ذلك يجعل نشاط الدماغ ألوان الأشياء ثابتة نسبيا على الرغم مما يحدث من تغيرات في البيئة المحيطة بها.

ويتفق معظم الباحثين الذين يدرسون الإبصار على أن الألوان تساعدنا على التمييز بين الأشياء عندما لا تكون الفروق في السطوع كافية لهذه المهمة، في حين ينزع البعض إلى القول بأن الألوان ترَفٌ ولا حاجة فعلية إليها، إذ على الرغم من كل شيء يبلي الناسُ المصابون بالعمى اللوني التام وكذلك الكثير من أنواع الحيوانات بلاءً حسنا من دون مدى الإدراك اللوني الموجود لدى الغالبية من البشر. فالمسار المسؤول عن أداء وظيفة الملاحة والحركة في الدماغ، على سبيل المثال، يتسم أساسا بالعمى اللوني؛ كما يبدو أن الأشخاص الذين يصابون بالعمى اللوني إثر إصابتهم بسكتة دماغية يظل إدراكهم البصري طبيعيا من النواحي الأخرى. ولقد أخذت مثل تلك الملاحظات كدعائم لمفهوم الطبيعة الانعزالية للمعالجة اللونية الذي يقترح أن الألوان ليس لها أي دور في معالجة عمق الأشياء، وشكلها، وأنها باختصار مختصة فقط بتدرج اللون وإشباعه وسطوعه.

ولكن دراسة الألوان الخادعة للبصر، أي التي ينخدع الدماغ

(*) ILLUSOR COLOR THE BRAIN

رؤيتها، تثبت أن معالجة الألوان في الدماغ تحدث جنبا إلى جنب مع معالجة خواص الأشياء الأخرى، مثل الأشكال والحدود. لقد درسنا عددا من الصور الجديدة الخادعة للبصر التي ابتدعنا كثيرا منها في محاولتنا. طوال عقد من الزمن، تبيَّن كيف تؤثر الألوان في إدراك الخواص الأخرى للأشياء. ولقد أعانتنا هذه الصور الخادعة للبصر على فهم كيف تؤدي المعالجة العصبية للألوان إلى بزوغ خواص الأشكال والحدود. إلا أننا نحتاج إلى تذكر كيف يعالج الجهاز البصري البشري الألوان قبل أن نبدأ بمناقشة تلك الصور الخادعة للبصر.

المسارات المؤدية إلى الخداع البصري(*)

يبدأ الإدراك البصري بامتصاص الضوء - أو بشكل أكثر دقة بامتصاص مجموعات صغيرة منفصلة من الطاقة تسمى الفوتونات أو وحدات الكم الضوئي - بواسطة المخاريط والنبابيت الواقعة في الشبكية [*انظر المؤطر في الصفحة 60*]. تستخدم المخاريط للرؤية النهارية، أما النبابيت فهي مسؤولة عن الرؤية الليلية. يستجيب مخروط المستقبل الضوئي بحسب عدد الفوتونات التي يأسرها، وتنتقل استجابته إلى نوعين مختلفين من العصبونات يطلق عليها مصطلح الخلايا الثنائية القطب لبدء الاستثارة العصبية ووقفها. وبدورها تزود هذه العصبونات خلايا عقدية لبدء الاستثارة العصبية ووقفها، وهي واقعة جنبا إلى جنب في الشبكية، بزاد من الدفعات العصبية.

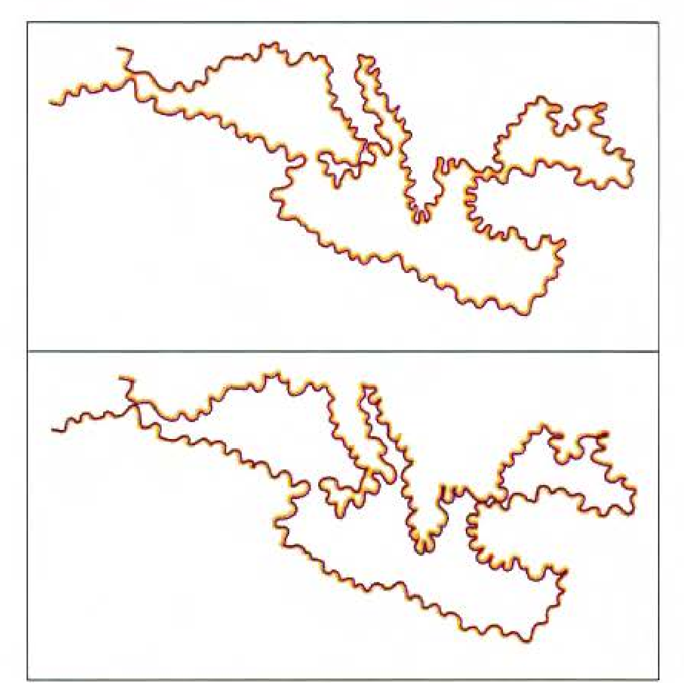
وللخلايا العقدية ما يسمى **حقل استقبال مطوقا لمركز**(1). وحقل الاستقبال لأي عصبون متعلق بالإبصار هو مساحة من الفضاء في العالم المادي تؤثر في نشاط ذلك العصبون. ويستجيب العصبون ذو حقل الاستقبال المطوق لمركز استجابات متفاوتة وفقا لكمية الضوء النسبية في مركز الحقل وفي المنطقة المحيطة بالمركز.

وتستثار الخلايا العقدية لبدء الاستثارة العصبية إلى أقصى حد وتطلق الدفعات العصبية بمعدل مرتفع، عندما يكون المركز أكثر إضاءة من المنطقة المحيطة به، وتقل استثارتها إلى حدها الأدنى وتطلق الدفعات العصبية بمعدل منخفض، عندما يكون حقل الاستقبال مضيئا إضاءة متماثلة. أما الخلايا العقدية لوقف الاستثارة العصبية فتسلك مسلكا مضادا، حيث تطلق الحد الأقصى من الدفعات العصبية عندما يكون المركز أكثر ظلمة من المنطقة المحيطة به، وتطلق الحد الأدنى من الدفعات العصبية عندما يكون المركز والمنطقة المحيطة به متماثلي الإضاءة. وهذا التضاد بين المركز والمنطقة المحيطة به يعني أن الخلايا العقدية تستجيب للتغاير. وبهذه الطريقة تزيد من شدة استجابة الدماغ للحافات والحدود.

تنقل محاوير الخلايا العقدية إشاراتها على مراحل إلى الدماغ. وبالتحديد إلى النواة الركبية البرانية (الوحشية) للمهاد (بالقرب من مركز الدماغ)، ومن هناك إلى القشرة المخية البصرية (عند مؤخر الدماغ). إن المجموعات المختلفة من الخلايا العقدية حساسة لصور مختلفة نوعا ما من المنبهات كالحركة والشكل، وتوصل أليافها الإشارات بسرعات مختلفة، حيث تنتقل إشارات الألوان على سبيل المثال بواسطة الألياف البطيئة.

ويعتقد أن حوالي 40 في المئة، أو أكثر، من الدماغ البشري يُستخدم في الإبصار. وتنتظم العصبونات في المناطق التي يتم تنبيهها مبكرا في أثناء المعالجة الإبصارية (وهي أجزاء من القشرة المخية البصرية تسمى V1، V2، V3) في خرائط توفر تمثيلا لمجال الإبصار نقطة إلى نقطة. ومن هناك تنتشر الإشارات البصرية إلى أكثر من 30 منطقة مختلفة متصلة معا بواسطة أكثر من 300 دائرة. وكل منطقة من هذه المناطق لها وظائف متخصصة، مثل معالجة الألوان والحركة والعمق والشكل. ولكنها لا تنقل حصريا خاصية إدراكية واحدة. وفي النهاية، تتجمع كل هذه المعلومات بطريقة ما في إدراك حسي متكامل للشيء، ذي الشكل الخاص واللون الخاص. ولم يتمكن علماء الأعصاب حتى الآن من فهم تفاصيل كيفية حدوث ذلك.

ومن المثير للاهتمام أن إصابة مناطق إبصارية معينة على جانبي الدماغ بالتلف تؤدي إلى حدوث عجز في إدراك الأشكال

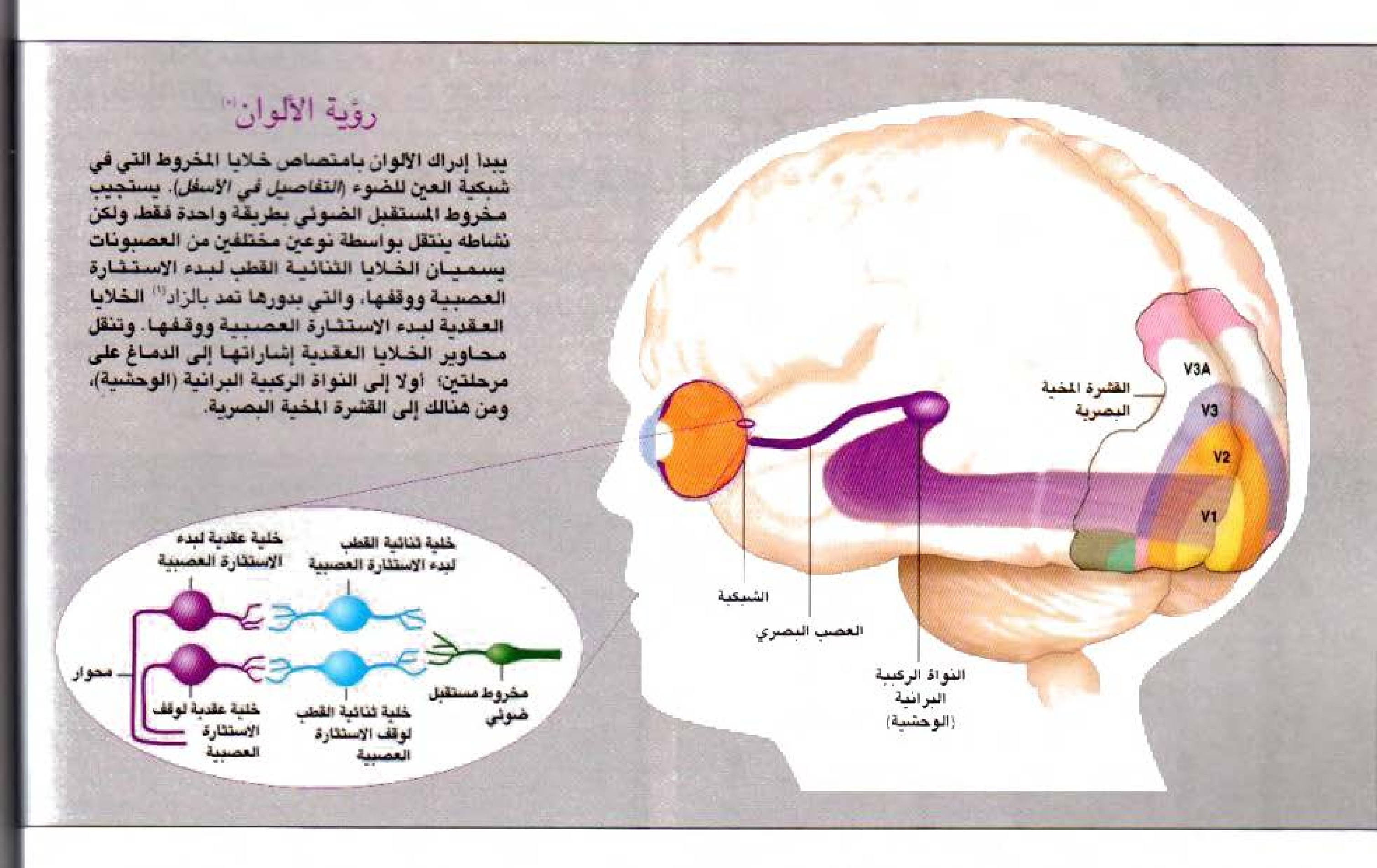


يبين تأثير الواتر - الذي يبدو فيه أن اللون الأفتح من أي لونين هو الذي ينتشر - كيف يمكن أن تكون الألوان مهمة في تحديد اتساع الأشكال وهيئتها. تظهر شريطة البحر الأبيض المتوسط، على الفور، عندما ينتشر اللون الخفيف الذي يبدو في البداية أنه يغطي البحر (*في الأعلى*) إلى نطاق اليابسة.

نظرة إجمالية/ رؤية الألوان(**)

- **لقد ظل الباحثون، الذين يدرسون عملية الإبصار، يعتقدون أن معالجة الألوان في الدماغ منفصلة عن معالجة ملامح الأشياء الأخرى، مثل العمق والشكل.**
- **ولكن دراسة الألوان الخادعة للبصر أثبتت أن إدراك الألوان يولد خواص الشكل والعمق الناشئة عنها.**
- **على وجه التخصيص، قام المؤلفون بتهيئة شكل اسمه الصورة الخادعة للبصر لـ<إهرنشتاين> للكشف عن كيفية ارتباط ألوان الأشياء وأشكالها وهيئاتها بإدراك الدماغ للعالم المرئي.**

(*) Pathways to Illusions
(**) Overview/ Color Vision
(1) center-surround receptor field



رؤية الألوان(*)

يبدأ إدراك الألوان بامتصاص خلايا المخروط التي في شبكية العين للضوء *(التفاصيل في الأسفل)*. يستجيب مخروط المستقبل الضوئي بطريقة واحدة فقط، ولكن نشاطه ينتقل بواسطة نوعين مختلفين من العصبونات يسميان الخلايا الثنائية القطب لبدء الاستثارة العصبية ووقفها، والتي بدورها تمد بالزاد(1) الخلايا العقدية لبدء الاستثارة العصبية ووقفها. وتنقل محاوير الخلايا العقدية إشاراتها إلى الدماغ على مرحلتين: أولا إلى النواة الركبية البرانية (الوحشية)، ومن هنالك إلى القشرة المخية البصرية.

وكذلك الألوان، وهذا دليل آخر على أن لون الشيء ليس منفصلا عن خواصه الأخرى. ويمكن أن يؤدي تمازج الإشارات اللونية في الدماغ مع الإشارات الناقلة للمعلومات المتعلقة بأشكال الأشياء، إلى إدراكات حسية غير متوقعة من تحليل أطوال موجات الضوء المنعكس من تلك الأشياء ـ كما أوضحت ذلك بشكل مذهل صورنا الخادعة للبصر.

تأثير ألوان الماء(**)

لقد أوضحت واحدة من تجاربنا المبكرة مع الألوان الخادعة للبصر كيف يمكن أن تكون الألوان مهمة لتحديد مساحة أي شكل من الأشكال وهيئته بدقة. يمكن أن يتغير لون الشيء في حالات معينة استجابة للون المحيط به، بحيث يصير أكثر اختلافا عنه (ويسمى ذلك تغايرا أو تباينا) أو أكثر مشابهة له (ويسمى ذلك تشابها أو تماثلا). وقد وُصِف حدوث انتشار اللون المشابه فقط عبر مساحات ضيقة، متوافقا مع النتائج البحثية التي وجدت أن غالبية الاتصالات في ما بين العصبونات الإبصارية في الدماغ ذات مدى قصير نسبيا. لذلك اندهشنا حين وجدنا أنه عندما تكون مساحة غير ملونة مطوقة بخطي حدود كفافيين مختلفي اللون ـ بحيث يكون الخط الكفافي الداخلي أفتح من الخط الكفافي الخارجي ـ فإن لونا خفيفا ينبعث من الخط الكفافي الداخلي منتشرا عبر تلك المساحة بأكملها، بل حتى عبر مسافات طويلة إلى حد ما [*انظر الشكل في الصفحة 59*].

ولما كان اللون يشبه نسيجا شفافا باهتا كالذي نراه في صورة بألوان الماء، سمينا هذه الصورة الخادعة للبصر تأثير ألوان الماء. لقد وجدنا أن انتشار اللون يتطلب أن يكون خطا الحدود الكفافيين متماسين، بحيث يمكن أن يؤدي اللون الداكن دور الحاجز الذي يسمح بانتشار اللون الفاتح على الداخل في الوقت الذي يحول فيه دون انتشاره للخارج. ويبدو الشكل المحدد باللون المائي الخادع للبصر كثيفا ومرتفعا ارتفاعا طفيفا، ولكن حينما ينعكس لونا الخط الكفافي المزدوج تبدو هذه المنطقة نفسها بيضاء بياضا باهتا ومرتدة ارتدادا طفيفا.

إن تأثير ألوان الماء يحدد ما الذي سيصبح شكلا وما الذي سيصير **أرضية** ground بقوة أكثر حتى من الخواص التي اكتشفها **علماء النفس الجشطلت**(2) عند بداية القرن العشرين، مثل القرب والامتداد الأملس والإغلاق والتماثل وهلم جرا. إن جانب الخط الكفافي المزدوج ذا اللون الفاتح يملأ ما بداخله باللون المائي ويتم إدراكه كشكل، في حين يُدْرَك الجانب ذو اللون الداكن كأرضية. ويساعد عدم التماثل هذا على إبطال الالتباس. وتذكرنا هذه الظاهرة بنظرية <F. روبين> [أحد رواد أبحاث الشكل والأرضية] التي تنص على أن الحد ينتمي إلى الشكل وليس إلى الأرضية.

وهناك تفسير عصبي لصورة ألوان الماء الخادعة للبصر، وهو أن المجموعة المؤتلفة من خط كفافي فاتح اللون مطوق بخط كفافي داكن اللون (حتى على خلفية أفتح لونا) تنبه العصبونات التي تستجيب فقط لخط حدود كفافي فاتح اللون من الداخل أكثر من الخارج، أو لخط كفافي داكن اللون من الداخل أكثر من الخارج. ولكن ليس لكليهما

(*) Seeing Color
(1) inputs
(**) The Watercolor Effect
(2) Gestalt psychologists

وعلى الأرجح **تُكوِّد**(١) ملكية الحدود في مراحل مبكرة من المعالجة الإبصارية في القشرة المخية البصرية. كما في منطقتي الدماغ V1، V2. وفي التجارب التي أجريت على السنانيس، وجد علماء الفزيولوجيا العصبية أن ما يقرب من نصف عدد العصبونات الموجودة في القشرة المخية البصرية يستجيب لاتجاه التغاير (سواء أأصبح اللون فاتحا أكثر أم داكنا أكثر)، ولذلك يمكنها أن تعيّن بدقة حدود الشكل. كما أن لهذه العصبونات نفسها دورا في إدراك العمق الذي يمكن أن يسهم في فصل الشكل عن الأرضية.

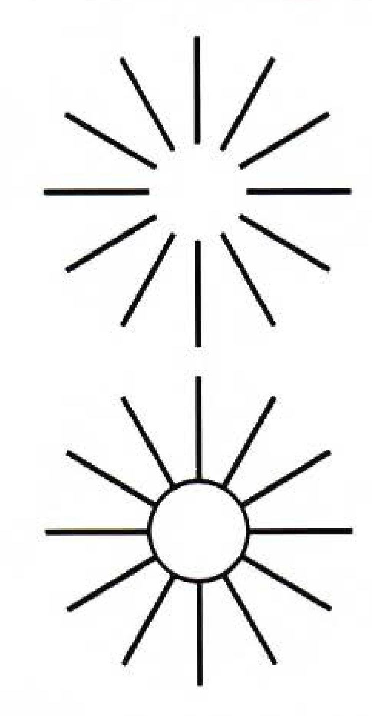
لقد أظهرت استقصاءاتنا أن الخطوط المتعرجة تحدث انتشارا أقوى لألوان الماء مما تحدثه الخطوط المستقيمة، ربما لأن الحدود المتموجة تُشغِّل عددا أكبر من العصبونات الحساسة والسريعة الاستجابة للتوجيه. ولابد أن الإشارات اللونية المنبعثة من هذه الحافات غير المستقيمة تنتشر عبر مناطق القشرة المخية التي تخدم مساحات واسعة من مجال الإبصار، بحيث يستمر انتشار اللون إلى أن توفر الخلايا الحساسة للحدود الموجودة على الجانب الآخر من المنطقة المطوقة حاجزا يمنع تدفق اللون. وهكذا يكون اللون والشكل مرتبطين معا ارتباطا معقدا لا ينفصم في الدماغ والإدراك الحسي عند هذا المستوى من التحليل القشري المخي.

خطوط شعاعية(*)

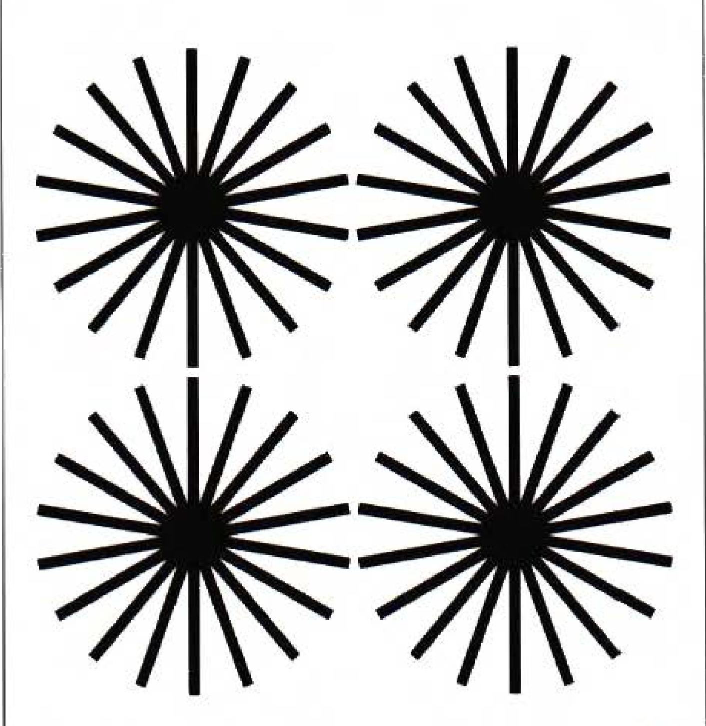
تقدم صورة الخطوط الشعاعية الخادعة للبصر مزيدا من الأدلة على الدور الذي يؤديه اللون في تمييز الشكل من الأرضية. لقد أثبت عالم النفس الألماني <W. إهرنشتاين> في عام 1941 أن رقعة دائرية ساطعة تملأ بوضوح الفجوة المركزية الموجودة بين مجموعة من الخطوط الشعاعية. ولا يوجد أي ارتباط بين الرقعة والحد الدائري المحدد لها وبين المنبه المادي، فهما انطباعان خادعان متولدان منه. ويبدو السطح الساطع الخادع للبصر واقعا أمام الخطوط الشعاعية بمسافة طفيفة [*انظر الشكل العلوي في هذه الصفحة*].

ويحدد طول الخطوط الشعاعية وعرضها وعددها وتباينها شدة هذه الظاهرة. ويقتضي الترتيبُ المكاني للخطوط اللازم ليصبح الخداع البصري نافذ المفعول وجودَ عصبونات تستجيب لنهايات الخطوط. لقد تم تعيين هذه الخلايا، التي تسمى الخلايا المتوقفة الاستثارة، في نهايات الخطوط التي يمكن أن تفسر هذا التأثير في القشرة المخية البصرية وتتحد هذه الإشارات الموضعية لتصبح زادا لعصبونات أخرى (من المرتبة الثانية) تملأ المساحة المركزية بسطوع زائد.

لقد قمنا في دراساتنا للصورة الخادعة للبصر لـ<إهرنشتاين>، بتقييم التغييرات في عدد الخطوط الشعاعية وطولها وعرضها. والأمثلة التي نعرضها في هذه المقالة تستخدم فيها المجموعة المؤتلفة من التغييرات التي



يوفر شكل إهرنشتاين الذي طوره عالم النفس الألماني <W. إهرنشتاين> في عام 1941، أساسا للخداعات البصرية التالية. تؤدي إضافة دائرة (*كما في الشكل السفلي*) إلى تلاشي الخداع البصري الذي يجعلنا نرى قرصا مركزيا ساطعا



❶ تملأ رقع دائرية ساطعة الفجوة المركزية لشكل إهرنشتاين الذي تم تعديله لزيادة هذا الخداع البصري

(*) Radial Lines

(١) encode

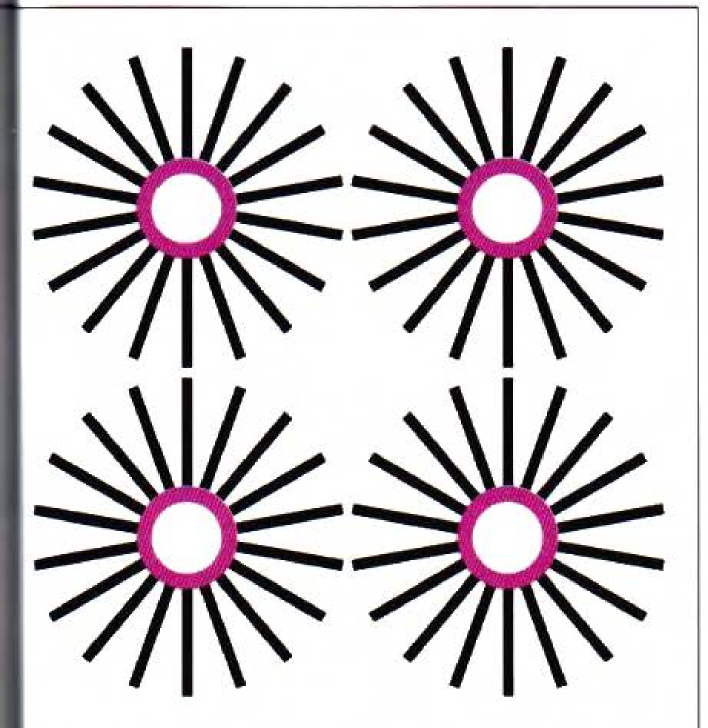
وجدناها الأكثر لفتا للنظر [انظر الأشكال المرقمة]. ولزيادة التأثيرات قمنا بعرض أربع نسخ من كل نموذج منظمةً كمجموعة. وبمجرد أن استطعنا تحديد خصائص الخطوط الشعاعية التي تنتج الدائرة المركزية الأكثر سطوعا ❶، قمنا بالتجريب مع تغيير الخواص اللونية للفجوة المركزية. فقمنا أولا بإضافة حلقة سوداء إلى شكل إهرنشتاين فاختفى سطوع الفجوة المركزية تماما وتلاشى الخداع البصري. وهو ما لاحظه <إهرنشتاين> سابقا وأشار إليه. ونحن نشتبه في أن هذا التأثير ينشأ لأن الحلقة تسكت الخلايا التي تبلغ بالإشارات نهايات الخطوط.

أما إذا كانت الحلقة ملونة، فيمكن أن تستثار خلايا أخرى بهذا التغير. فعندما أضفنا حلقة ملونة لم يَبْدُ القرص الأبيض أكثر سطوعا ولمعانا (مضيئا إضاءة ذاتية) مما كان عليه في شكل إهرنشتاين فحسب، بل كان له أيضا مظهر كثيف كما لو أن عجينة بيضاء، قد وُضِعت على سطح الورقة ❷. لقد أثارت هذه الظاهرة دهشتنا، حيث إن الإضاءة الذاتية وخواص السطح لا تظهران معا عادة، بل تعتبران أيضا شكلين للمظهر متعارضين أو مانعين بالتبادل. لقد أطلقنا على هذه الظاهرة مصطلح التحريض على السطوع الشاذ، ورشحنا الخلايا الموجودة في المناطق القشرية المخية الأولية لتكون مسؤولة عن هذا الخداع البصري، كما في تأثير ألوان الماء.

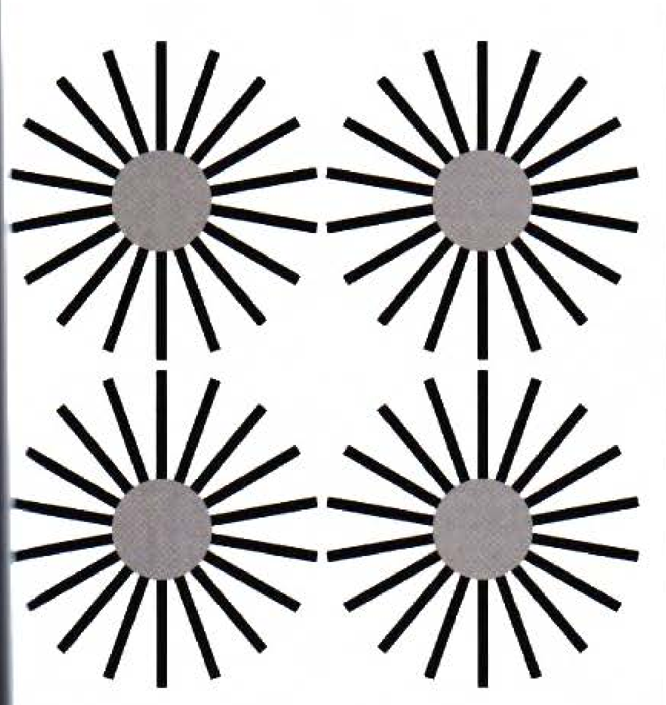
بعد ذلك قمنا بإدخال قرص رمادي في الفجوة المركزية لشكل إهرنشتاين ❸. فنشأت ظاهرة أخرى أُطلق عليها مصطلح البريق المتلألئ، والتي يفسح فيها السطوع الخادع للبصر المجال لإدراك وميض لامع يحدث مع كل حركة للنموذج أو العين. ويمكن أن يحدث التلألؤ أو اللمعان نتيجة التنافس بين جهازي بدء الاستثارة العصبية ووقفها: فيتنافس السطوع الذي تحرض عليه الخطوط (تزايد متوهم) مع اللون الرمادي الداكن للقرص (تناقص مادي). وعندما قمنا باستبدال الأقراص المركزية البيضاء داخل الحلقات الملونة بأقراص سوداء، مع استخدام خلفية محيطة سوداء ❹، بدت الأقراص داكنة أكثر حتى من المساحة المحيطة بها والمطابقة ماديا لها. وبدلا من ظهورها مضيئة إضاءة ذاتية مثل الأقراص البيضاء، يحدث السواد فيما يبدو فجوة أو ثقبا أسود يمتص جميع الضوء.

عندما كان القرص المركزي داخل الحلقة الملونة رماديا بدلا من أن يكون أبيض أو أسود، فقد ظهر وكأنه أصبح ملونا باللون المتمم للون الحلقة، فتلون على سبيل المثال بلون أصفر ضارب إلى الخضرة عندما كانت الحلقة المطوقة له أرجوانية اللون ❺. إضافة إلى ذلك بدا أن القرص يلمع مع كل حركة للعين أو عند تحرك النموذج للخلف أو للأمام؛ كما بدا أنه يتحرك بالنسبة إلى المنطقة المحيطة به. ويعتمد التغاير اللوني الشاذ الوامض على الخطوط الشعاعية والحلقة الملونة مثله مثل التأثيرات الأخرى. ولكن له أيضا خواص فريدة ليست فيما يبدو مجرد مجموعة مؤتلفة من التأثيرات المعروفة الأخرى. ففي هذا الخداع البصري، يبدو اللون المُحْدَث مضيئا إضاءة ذاتية ومتلألئا، كما يبدو طافيا فوق بقية الصورة على نحو لافت للنظر. ولا يختلط لون السطح مع اللون المضيء إضاءة ذاتية، ولكن بدلا من ذلك ينتمي أحدهما إلى القرص الظاهر في *الصفحة* وينبعث الآخر من اتحاد الخصائص الأخرى للمنبهات.

في التغاير اللوني الشاذ الوامض، يمكن أن تنشط الخطوط



❷ **تحريض على إحداث سطوع شاذ:** إن إضافة حلقات ملونة تجعل الرقع الخادعة للبصر تبدو أكثر بياضا.



❸ **بريق متلألئ:** تسبب الأقراص الرمادية ملء الفجوة المركزية برقع دائرية وامضة.

الشعاعية العصبونات الموضعية المتوقفة الاستثارة بنهايات الخطوط، مثل ما اقتُرح بالنسبة إلى تزويد الفجوات بخطوط كفافية خادعة للبصر، ولكن تنشيط هذه الخلايا لا يفسر تفسيرا كاملا الظهور المشترك للوميض واللون المتمم. وليس واضحا فيما إذا كان للخطوط الشعاعية تأثير مباشر في التغاير اللوني أم أن زهو اللون مشتق، على نحو غير مباشر، من التلالؤ والبريق اللذين تسببهما المجموعة المؤتلفة من الخطوط الشعاعية والمركز الرمادي.

إن الفهم الحالي للدماغ لا يستطيع تفسير جميع الأمور التي تحدث في هذا الخداع البصري، وإن تعقيد هذا الخداع البصري يوحي بأن حدوثه نتيجة عملية منفردة متكاملة أمر بعيد الاحتمال. ولكنه قد يمثل محاولة من قبل الدماغ للتوفيق بين الإشارات المتنافسة الواردة من العديد من المسارات المتخصصة. ولهذا من الواضح أن على العلماء اكتشاف المزيد عن كيفية إدراك الدماغ للعالم المادي. ولحسن الحظ سوف يستمر العمل المتقدم على الألوان الخادعة للبصر لاقتراح مدخل مثير إلى تعقيدات جهاز الإبصار البشري. ■

المؤلفون

Jahn S. Werner - Baingio Pinna - Lother Spillmann

عملوا على الصور الخادعة للبصر التي عرضت في هذه المقالة على مدى العقد الماضي. حصل <ويرنر> على الدكتوراه في علم النفس من جامعة براون وأجرى أبحاثه في معهد الإدراك الحسي - TND بهولندا، وهو الآن أستاذ في جامعة كاليفورنيا بديفيز. أما <بينا> الأستاذ في جامعة ساساري بإيطاليا، فقد تلقى تعليمه الجامعي ودراساته العليا في جامعة Padua. أما <سبيلمان> [وهو رئيس مختبر الفيزياء النفسية البصرية في جامعة فريبورج بألمانيا] فقد أمضى سنتين في معهد ماساتشوستس للتقانة وخمس سنوات في مؤسسة الشبكية Retina ومستشفى ماساتشوستس للعين والأذن. وقد ابتدع كل من <بينا> و<سبيلمان> صورا من الخداع البصري تعرض في قاعة الاكتشافات العلمية بسان فرانسيسكو.

مراجع للاستزادة

Sensory Experience, Adaptation and Perception. Edited by Lothar Spillmann and Bill R. Wooten. Lawrence Erlbaum Associates, 1984.

Visual Perception: The Neurophysiological Foundations. Edited by Lothar Spillmann and John S. Werner. Academic Press, 1989.

Neon Color Spreading: A Review. P. Bressan, E. Mingolla, L. Spillmann and T. Watanabe in *Perception*, Vol. 26, No. 11, pages 1353-1366; 1997.

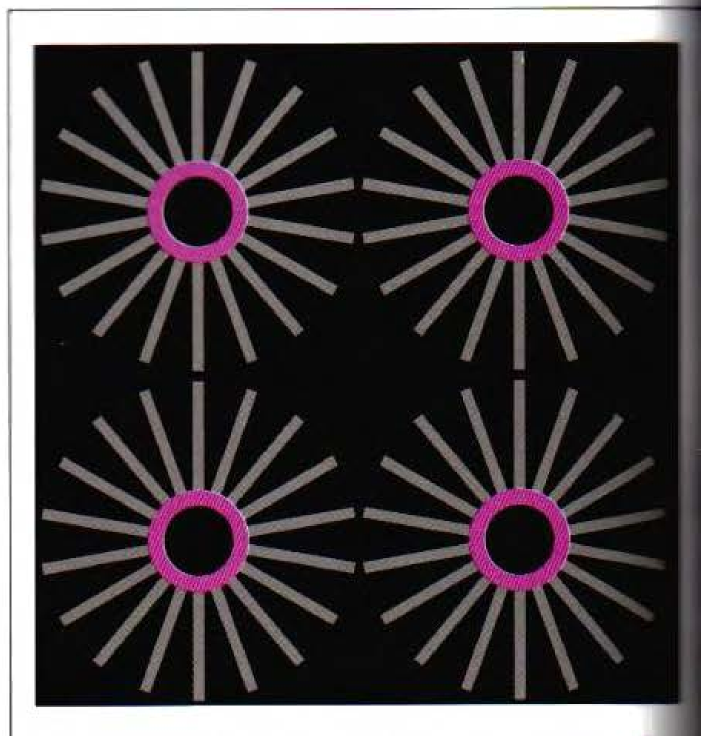
The Watercolor Effect: A New Principle of Grouping and Figure-Ground Organization. B. Pinna, J. S. Werner and L. Spillmann in *Vision Research*, Vol. 43, No. 1, pages 43-52; January 2003.

The Visual Neurosciences. Edited by L. M. Chalupa and J. S. Werner. MIT Press, 2004.

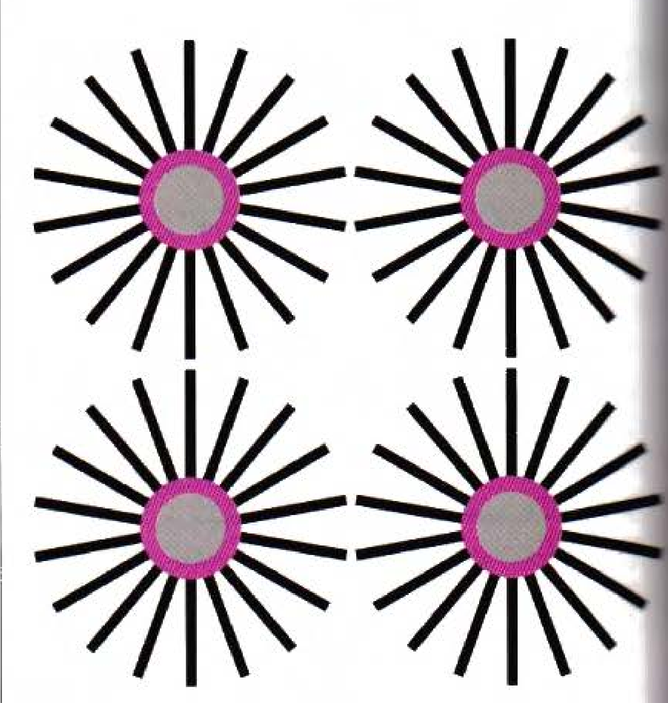
Figure and Ground in the Visual Cortex: V2 Combines Stereoscopic Cues with Gestalt Rules. F. T. Qiu and R. von der Heydt in *Neuron*, Vol. 47, No. 1, pages 155-166; July 7, 2005.

The Watercolor Illusion and Neon Color Spreading: A Unified Analysis of New Cases and Neural Mechanisms. B. Pinna and S. Grossberg in *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 22, No. 10, pages 2207-2221; 2005.

Scientific American, March 2007



4 **التحريض على ظهور سواد شاذ:** تبدو الأقراص السوداء داخل حلقات ملونة أكثر سوادا من المنطقة المحيطة بها والمتطابقة معها ماديا.



5 **التغاير اللوني الشاذ الوامض:** تبدو الأقراص الرمادية المطوقة بحلقات أرجوانية كأضواء وامضة لونها أصفر مشوب بخضرة عندما يتحرك النموذج أو تتحرك العين للخلف وللأمام.



يمكنك صنع ممحاة كمومية(*)

باستخدام معدات متاحة، يمكنك القيام بتجربة منزلية توضح أحد أغرب تأثيرات الميكانيك الكمومي.

<R. هيلمر> ـ <P. كويات>

على ما يبدو، تؤثر الممحاة الكمومية في أحداث الماضي، وذلك بإزالتها معلومات عن أشياء وقعت فعلا. وكمثال خيالي، يمكن لقطة أن تمر عبر طرفي شجرة في آن واحد إذا محينا بعد مرورها المعلومة المتعلقة بالطريق الذي اتبعته.

كما هو معروف، يكشف لنا الميكانيك الكمومي الغرابة الأساسية في سلوك عالمنا. فهو يتعارض مع المفاهيم القائمة على الحس المشترك السليم، والتي هي لب إدراكاتنا المعتادة للواقع: يمكن لخيارين متناقضين أن يتعايشا، كأن يتبع شيء ما مسارين مختلفين في آن واحد. فلا يمكن أن يكون للأشياء أوضاع وسُرَعٌ دقيقة في آن واحد؛ ويمكن أن تخضع خواص الأشياء والأحداث إلى عشوائية يستحيل استئصالها، لأنها لا تتصل بأي حال من الأحوال بعدم كمال أجهزتنا أو نظرنا.

لقد ولى عهد عالم موثوق تسير فيه الذرات والجزيئات الأخرى، كما تفعل كرات البلياردو على طاولته الخضراء. وعوضا عن ذلك، فهي تتصرف أحيانا كموجات تنتشر في منطقة ما وتتقاطع لتكون أنماط التداخل.

إلا أن جميع هذه الغرائب مازالت تبدو بعيدة عن الحياة العادية. ولا تتضح التأثيرات الكمومية إلا في الجمل الدقيقة، كالإلكترونات المحصورة داخل حدود الذرة. ولعلك تعلم نظريا أن الظواهر الكمومية هي أساس معظم التقنيات الحديثة، وأنه لا يمكن توضيح الغرائب الكمومية إلا في المختبرات، وأن الوسيلة الوحيدة لرؤيتها في المنزل هي برامج التلفاز العلمية. أليس كذلك؟ كلا ليس تماما.

في *الصفحتين 66 و 67* سنريك كيف نجري تجربة توضح ما يعرف باسم **الممحاة الكمومية**(1). يتضمن هذا التأثير إحدى أغرب سمات الميكانيك الكمومي ـ القدرة على القيام بأفعال تغير تفسيرنا الأولي لما حدث في الماضي.

إلا أننا، قبل أن نشرح ما نعنيه وأن نرسم الخطوط العريضة للتجربة، نريد حرصا على مصداقية دعوانا، أن نؤكد ما يلي. يمكن النظر إلى الأشكال الضوئية، التي ستراها إذا ما نجحت في إجراء التجربة، باعتبار الضوء موجة كلاسيكية لا تتضمن أي تأثير كمومي. وهكذا فالتجربة من وجهة النظر هذه محض خداع ولا تبرهن تماما على الطبيعة الكمومية للتأثير.

ومع ذلك فإن الفوتونات التي تكوّن الموجة الضوئية ترقص الرقصة الكمومية بكاملها، من دون أدنى تغيير في غرابتها. إلاّ أنك

(*) A DO-IT-YOURSELF QUANTUM ERASER
(1) quantum eraser

ماذا تحتاج للقيام بالتجربة(*)

- **حجرة شديدة الظلام.**
- **فيلم استقطاب**(1). فيلم رمادي وحيد اللون عالي الجودة («درجة تجريبية») يعطي أفضل النتائج؛ تجنب استخدام فيلم ملون أيا كان اللون (انظر الموقع: www.sciam.com/ontheweb لمعرفة بعض أمكنة بيع الأفلام). قطّع الفيلم إلى ستة مربعات، طول ضلع كل منها بوصتان. *والمؤطر في الصفحة 68* يشرح فعل المستقطب في الفوتونات.
- **ليزر**، مثل مؤشر الليزر. إذا كان مصدرك ينتج ضوءا مستقطبا، وجه محور استقطابه ليصنع زاوية 45 درجة مع العمود. إذا كان شعاع الليزر غير مستقطب، ضع مستقطبا بزاوية 45 درجة مباشرة أمام الليزر عند كل خطوة. استعمل رباطا مطاطيا للإبقاء على عمل الليزر.
- **سلك رفيع مستقيم**: ملقط شعر أو رزّازة ورق.
- **ورقة قصدير (ألمنيوم) ودبوس لثقبها**. ينتشر الضوء المار عبر الثقب مكونا شعاعا مخروطيا ضيقا. ثقب الدبوس يجعل الأشكال أشد عتمة. ويمكن تحسين النتائج إذا كان ظلام الغرفة كافيا.
- **بعض الحوامل** لتثبيت الليزر والمستقطبات في أمكنتها، وهذه يمكن أن تكون ببساطة كعلب الطعام.
- **حاجز** تُعرض عليه الأشكال النهائية. ويفي حائط صقيل بالغرض، وإلا استعمل صفيحة من الورق.

لا تستطيع التحقق من ذلك إلا إذا أرسلت الفوتونات عبر الجهاز وكشفت عنها واحدا تلو الآخر. غير أن هذا مازال، مع الأسف، بعيدا عن متناول المجرب المنزلي. ومع ذلك فإن رصدك للأشكال في تجربتك وأخذك بالاعتبار ما تعنيه بلغة الفوتونات الفردية، سيعطيك فكرة عن غرابة عالم الميكانيك الكمومي.

إذا كنت تريد القيام مباشرة بالتجربة في منزلك، فإنها مفصّلة في ***الصفحتين 66 و 67***. **والمناقشة التالية (والتي ستتابع في** ***الصفحة 68***) **تدخل في علم الممحاة الكمومية بصورة عامة. وسيساعدك هذا الشرح على فهم ما تبينه تجربة الممحاة. وقد يكون بودك الرجوع إليها بعد رؤيتك ما تفعل هذه الممحاة الخاصة.**

ما تمحوه الممحاة الكمومية(**)

إن أغرب ما يتسم به الميكانيك الكمومي هو أن السلوك الذي يبديه شيءٌ ما يتوقف على ما نريد اكتشافه فيه. وهكذا يمكن للإلكترون أن يسلك سلوك جسيم أو سلوك موجة، وذلك وفق تركيب التجربة التي نخضعه لها. فعلى سبيل المثال، يظهر السلوك الجسيمي في بعض الأحوال عندما نتحقق من المسار المحدد الذي اتبعه الإلكترون. ويظهر السلوك الموجي إذا لم نقم بذلك.

يعتمد التوضيح المعهود لهذه **المثنوية**(2) duality على ما يعرف باسم تجربة الشقين (تشبه تجربة الممحاة الكمومية هذه التجربة من حيث احتواؤها على مسارين وليس على شقين). يصدر منبع للجزيئات، كالإلكترونات مثلا، جزيئات تسير في اتجاه حاجز يحتوي على شقين، تستطيع المرور عبرهما لتحط في نهاية المطاف على حاجز آخر، حيث يحدث كل جزيء بقعة. ولا يمكن التنبؤ بالموقع الذي حط فيه الجزيء، فهو عشوائي إلى حد ما. إلا أن تراكم آلاف البقع ينشئ صورة يتنبأ بها. فإذا كانت ظروف التجربة تلائم السلوك الموجي، فالنتيجة هي صورة تداخل: سلسلة من قضبان غائمة، تسمى **أهدابا**(3)، تحطّ فيها معظم الجزيئات ولا يصل سوى القليل منها إلى الفرجات التي تفصل بينها.

وتولد الجزيئات صورة تداخل في حالة واحدة فقط، وهي أن يكون الجزيء قد مر عبر الشقين معا: إذا لم يكن هناك من وسيلة لمعرفة الشق الذي مر منه فنقول عندئذ إنه لا يمكن التمييز بين المسارين وإن الجزيء يتصرف وكأنه قد مر في واقع الأمر من الشقين معا. يحدث التداخل، حسب فهمنا للميكانيك الكمومي، عندما يتحد اختياران غير متميزين على هذا الشكل.

نسمي الحالة التي يوجد فيها خياران أو أكثر **تراكبا** superposition. في عام 1935، ركز ‹شرودينكر› الانتباه على غرابة التراكب الكمومي، عندما اقترح مفهوم القطة الحية والميتة في آن واحد، الموجودة في صندوق مغلق بإحكام بحيث لا يمكن مراقبتها، وهو مفهوم صار الآن سيئ الصيت. إن في تجربة التداخل الكمومي ما يشبه **قطة ‹شرودينكر›**(1)، إلا أنها بدلا من كونها حية وميتة في آن معا، فإنها تستطيع عندما تصل أمام الشجرة أن تمر من جانبيها في آن واحد.

وتنتهي حالة التراكب بالنسبة إلى قطة ‹شرودينكر› حالما ننظر داخل الصندوق: حيث نراها حية أو ميتة وليس في كلتا الحالتين (مع أن بعض تفسيرات الميكانيك الكمومي ترى أن المراقب هو الذي أصبح في حالة تراكب برؤية قطة حية أو قطة ميتة). وعندما نسلط الضوء في جوار الشجرة فإننا نرى القطة الكمومية تسير في أحد الاتجاهين. وعلى النحو نفسه بإمكاننا إضافة جهاز قياس يراقب مرور الجزيئات من الشقين. يمكننا أن نتخيل أننا أضأنا الشقين بحيث تتبعثر ومضة نور من المكان الذي أتى منه الجزيء؛ أي إن الومضة جعلت خياري المسار متميزين، وهو ما يقضي على التراكب. تصل الجزيئات إلى الحاجز النهائي على شكل لطخات عديمة الهيئة بدلا من وصولها على صورة أهداب. لقد أجريت تجارب تشابه هذا السيناريو، وكما يتنبأ الميكانيك الكمومي فلم تتكون أي أنماط تداخل.

في واقع الأمر، لا نحتاج إلى النظر وليس من واجبنا كشف ومضات الضوء والتحقق من الطريق الذي سلكه الجزيء. يكفينا أن المعلومة موجودة تحت تصرفنا في الومضات وأنه كان من الممكن

(*) What you will need for the experiment
(**) What a Quantum Eraser Erases
(1) polarizing film
(2) أو الازدواجية (في السلوك)
(3) fringes
(1) انظر: «بديل نظرية بوم حول تفسير ميكانيك الكم»، **العلوم**، العددان 7/6 (1995)، ص 54

المحو الكمومي في المنزل(*)

توضح الخطوات المعروضة هنا رؤية عملية المحو الكمومي. ولتوصيف أشمل ولمعلومات إضافية مثل مبادئ تداخل الموجات وتشكل الأهداب، انظر الموقع: www.sciam.com.



1 رؤية التداخل

- قم بلف ورقة القصدير حول طرف خروج أشعة الليزر واثقبها بدبوس لإتاحة مرور جزء من الحزمة الضوئية.
- ضع الليزر على بعد ست أقدام على الأقل من الحاجز المضاء لتتكون بقعة دائرية مضيئة عليه.
- ثبت السلك عموديا على مركز الحزمة.

ماذا سيحدث سترى نمط تداخل مؤلف من صف من الأهداب (قطاعات مضيئة ومظلمة). ينتج التداخل لأن الضوء المار من على يسار السلك يتداخل مع الضوء المار من على يمينه. إذا وضعت قطعة من الورق قرب السلك مباشرة فسترى **فلقة** lobe من الضوء على كل من جانبي ظل السلك. تتمدد الفلقتان وتغطي كل منهما الأخرى عندما تصلان إلى الحاجز. من المستحيل معرفة ما إذا كان الفوتون الفردي الواصل إلى الحاجز أتى من يسار السلك أو من يمينه. إن اتحاد هذين المسارين هو الذي يسبب تكون **الأهداب** fringes. ومع أنك تنظر إلى تريليونات من الفوتونات فإن كل فوتون يتداخل فقط مع نفسه.

سلك
نمط تداخل
ليزر
رقيقة

هذه لقطة فوتوغرافية للتداخل الحاصل. إن أبعاد وسمات أنماط التداخل المرسومة في هذا المخطط مبالغ فيها.

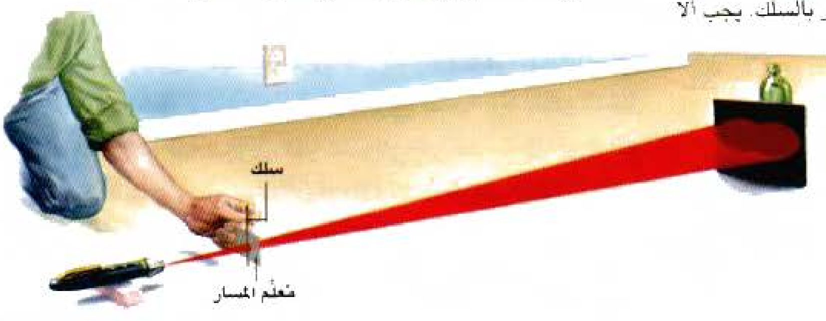
2 تمييز المسار بعلامات

- خذ مستقطبين وأدر أحدهما كي يصبح محوراهما متعامدين. تعرف أنك قمت بذلك فعلا إذا غطيت أحد الفيلمين بالآخر وسادت الظلمة منطقة التراكب.
- اربط المستقطبين جنبا إلى جنب من دون تغطية أو فراغ. ليكن الربط على طول المنطقتين العلوية والسفلية، بحيث لا يعترض الربط طريق الضوء. نسمي هذا الشيء طابع المسار.
- ضع طابع المسار في طريق الحزمة، بحيث يقع المفصل خلف السلك مباشرة. وقد يكون من الأسهل وصل طابع المسار بالسلك. يجب ألا يتزحزح هذا التركيب حتى نهاية التجربة.

نقول إن مستقطب اليسار ينتج ضوءا مستقطبا عموديا (V)، في حين ينتج مستقطب اليمين ضوءا مستقطبا أفقيا (H). هذا ولا أهمية لهذه التسمية ويمكن أن نعكسها.

ماذا سيحدث ستختفي الأهداب على الرغم من مرور الضوء عبر جانبي السلك. إذا وصل فوتون إلى الحاجز مارا من الجانب الأيسر للسلك فإنه يصل مستقطبا عموديا (V). وإذا وصل مارا من الجانب الأيمن فإنه يصل مستقطبا أفقيا (H). وهكذا تكون عَلّامتنا قد زودتنا بمعلومات عن الطريق الذي سلكه الفوتون وحال بذلك دون حدوث تداخل.



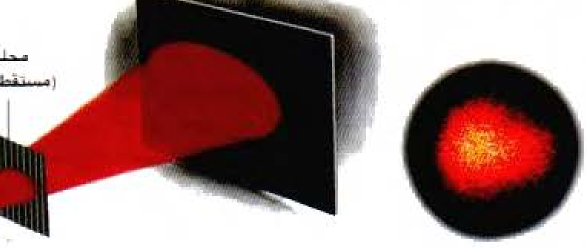
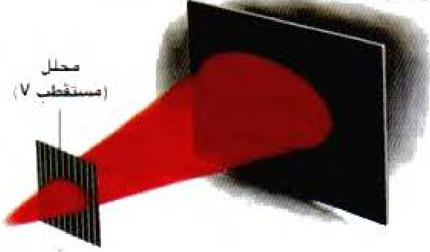


(*) Quantum Erasing in the Home

3 اختبار الفوتونات الآتية من اليسار

- قم بوضع مستقطب ثالث (• **المحلل** • the analyzer) بين الطابع والحاجز في الاتجاه V

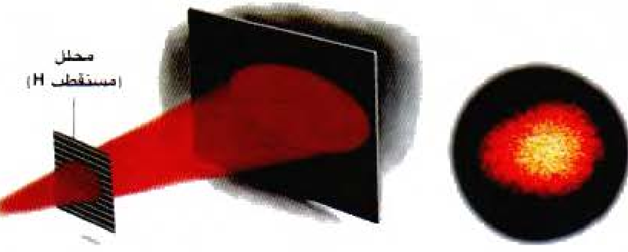
ماذا سيحدث: سيحُول المحلل دون مرور جميع فوتونات المسار الأيمن (التي أصبحت مستقطبة H عند الطابع)، ويسمح بمرور فوتونات المسار الأيسر. سيماثل نمط التداخل إلى حد بعيد شكله في المرحلة السابقة ـ الفارق أنه أشد عتمة ولا ينتشر بعيدًا نحو اليمين، لأنه الفلقة اليسرى وحدها من الضوء. لقد أتاح لك المحلل الحصول على المعلومات التي أعدها الطابع: إنك تعرف أن جميع الفوتونات المرتطمة بالحاجز آتية من يسار السلك.

4 اختبار الفوتونات الآتية من اليمين

- ضع المحلل في الاتجاه H

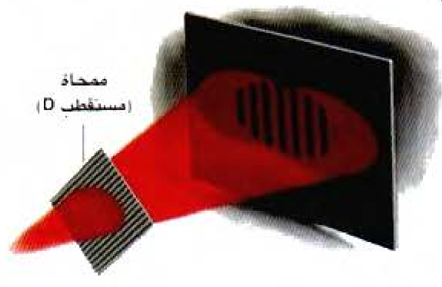
ماذا سيحدث: سيحول المحلل الأفقي دون مرور جميع فوتونات الفلقة اليسرى من الضوء، ويسمح بمرور فوتونات الفلقة اليمنى وحدها. ولو كنت قادرا على قياس شدتي الضوء، (أو عدد الفوتونات) على الحاجز لوجدت أن الضوء في المرحلة (2) هو مجموع الضوء في المرحلتين (3) و (4). لاحظ اختفاء الأهداب في المرحلة (2) مع أنك لم تكن متحققا من استقطاب الفوتونات. يكفي أنه كان من الممكن القيام بذلك كما في المرحلتين (3) و (4).

5 محو معلومة المسار

- أدر المستقطب 45 درجة باتجاه عقارب الساعة من الوضع V إلى اتجاه نسميه قطريا (D)

ماذا سيحدث: ستعود الأهداب إلى الظهور. لماذا؟ لأن المستقطب قام بمحو المعلومة عن الجانب الذي استعمله كل فوتون من الفوتونات. إن لكل فوتون V مار من الجانب الأيسر حظا بنسبة 50% الآن في الوصول الى الحاجز، تماما مثلما يفعل كل فوتون H مار من الجانب الأيمن. وبهذا تصبح جميع الفوتونات مستقطبة قطريا ولم يعد من الممكن معرفة مسار الفوتون. ومن جديد يسلك كل فوتون ظاهريا كلا المسارين في آن.

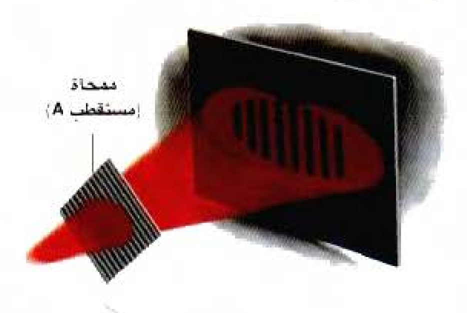





6 الممحاة المضادة

- أدر المستقطب 45 درجة باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة من الوضع V («قطري مضاد»، أو "A")

ماذا سيحدث: ستظهر من جديد الأهداب وينطبق كل شيء ورد ذكره في (5) على حالة الممحاة المستقطبة A. ولكنك إن أنعمت النظر فسترى أن الأهداب قد انحرفت قليلا في الحالتين: فأهداب A المضيئة هي حيث كانت أهداب D المظلمة، والعكس بالعكس. ولو أمكنك جمع الشدتين أو عدد الفوتونات للممحاتين D و A لوجدت من جديد المرحلة (2) حيث لا تداخل.





7 الممحاتان في آن واحد

- اقطع أفقيا إلى نصفين مستقطبًا D ومستقطبًا A
- صل النصف العلوي من D بالنصف السفلي من A
- ضع المحلل الهجين في مكانه

ماذا سيحدث: ستظهر أهداب D في النصف العلوي من الضوء، وأهداب A في النصف السفلي. يشبه الشكل الحاصل نوعا ما صف أسنان غير متراصفة. ويوضح لنا تقابل الأهداب المضيئة والمظلمة في الممحاتين.




الخلاصة

ماذا كانت الفوتونات تفعل في كل مرحلة من هذه المراحل

- يمر الفوتون في بعضها (3 و 4) من أحد جانبي السلك (لا تداخل) في حين يبدو في بعضها الآخر (1 و 5 و 6 و 7) وكأنه يمر من الجانبين في آن (منتجا نمط التداخل)
- يعتمد تفسيرنا لما فعلته الفوتونات عند السلك على ما تعرضت له لاحقا في تجهيزات التجربة - محلل أو ممحاة أو مجرد حاجز
- كشفت المرحلتان 6 و 7 أنه من الممكن محو معلومة الطريق بوسائل عديدة، مما ينتج صورة التداخل الأصلية أو مقلوب هذه الصورة

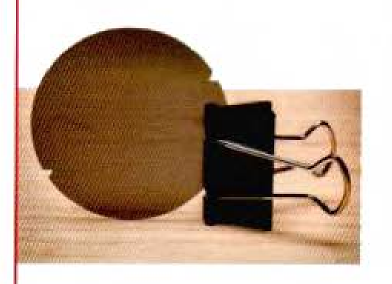


ماذا تفعل المستقطبات للفوتونات[*]

للفيلم المستقطب **محور** axis (نمثل اتجاهه في مخططاتنا بخطوط على الفيلم)، ويسمح المستقطب بمرور الضوء الذي تواري اهتزازاته اتجاه المحور. يمكنك أن تتصور الضوء كموجة على حبل يمسك شخصان بطرفيه. يمكن للموجة أن تجعل الحبل يتحرك صعودا وهبوطا أو من جانب إلى آخر أو بزاوية ما بين هذين الاتجاهين. إن زاوية الاهتزاز هي ما نسميه استقطاب الموجة.

يشبه الفيلم المستقطب حاجزا مؤلفا من قضبان متوازية يمر عبرها الحبل: فهي تسمح بمرور موجات مستقطبة بالتوازي معها دون عائق، في حين تعترض الموجات العمودية عليها كليا وتسمح للموجات بزوايا أخرى أن تمر ولكن بسعة اهتزاز أقل. إن أهم شيء في الأمر هو أن الموجة (إن وجدت) النافذة عبر المستقطب مستقطبة استقطابا موازيا لمحور إرسال المستقطب.

إن الوصف الكمومي لما يحدث للضوء المار عبر الفيلم المستقطب يختلف بعض الشيء عما قلناه: فالضوء مكون من جزيئات فردية هي الفوتونات، وللفوتون كما للموجات اتجاه اهتزاز. يمر الفوتون عبر المستقطب كل مرة يصطدم فيها بمستقطب ذي محور إرسال مواز لمحور استقطاب الفوتون. يحول المستقطب العمودي دون مرور الفوتون على الدوام، في حين تصل فرصة الفوتون للمرور إلى 50% عندما يكون محور الاستقطاب بزاوية 45 درجة (يتغير الاحتمال بتغير الزاوية). والأهم في الأمر أن استقطاب الفوتون بعد عبوره يصبح موازيا لمحور إرسال المستقطب.



ويمكن للضوء أيضا أن يكون غير مستقطب، بمعنى أن للفوتونات المكونة للضوء استقطابات عشوائية. وفي هذه الحالة يمر نصف الفوتونات عبر المستقطب ويصبح استقطاب هذا النصف موازيا لمحور المستقطب.

يمكنك أن ترى كيفية عمل المستقطبات بوضع اثنين منهما معا، فترى بتدوير أحدهما متى يكون محوراهما متوازيين أو متعامدين أو يصنعان زاوية ما فيما بينهما. فالصورة واضحة في الحالة الأولى، وتكاد لا ترى شيئا في الحالة الثانية، وترى إلى حد ما في الحالة الثالثة: ذلك أن الفوتونات التي تمر عبر المستقطب الأول أصبحت مستقطبة، وأصبح احتمال مرورها من المستقطب الثاني متوقفا على الزاوية بين استقطابها (الذي هو استقطاب المستقطب الأول) ومحور المستقطب الثاني.

يحدث تأثير مهم عند وضع مستقطب بين مستقطبين متعامدين (الأفضل في اتجاه 45 درجة بينهما). إن وضع المستقطب الثالث يسمح بمرور بعض الضوء، مع أنك قد تتوقع منه أن يكون عقبة أمام الضوء. (هل تستطيع تفسير ما يحدث؟ انظر الجواب على الموقع www.sciam.com). تعتمد تجربة المحاة الكمومية على مستقطب بزاوية 45 درجة في تغيير ما يفعله الضوء.

رصدها على هذا النحو.

لقد وصلنا الآن إلى المحاة الكمومية. إن المحاة هي شيء ما يستطيع محو المعلومة التي عينت مسار كل جزيء من الجزيئات، معيدة بذلك عدم التمييز بين الخيارين ومرجعة من ثم صورة التداخل.

كيف يمكن للمحاة القيام بذلك؟ لنتصور أن «الومضة الضوئية» التي **يبعثرها**[1] الجزيء مكونة من فوتون واحد. يعني كشف الفوتون عن معلومة الطريق الذي سلكه الجزيء أنه من الممكن (من حيث المبدأ على الأقل) تحديد الشق الذي أتى الفوتون منه. يجب أن يكون بمقدورنا والحالة هذه قياس الموضع الذي تبعثر الفوتون منه بدقة كافية تتيح لنا التفريق بين الشقين. إلا أن مبدأ عدم التحديد لهايزنبرگ يعلمنا أننا عندما نقوم، بدلا من قياس الموضع، بقياس **الاندفاع**[2] بدقة كبيرة فإن الموضع يصبح غير معروف بشكل جيد. وهكذا فإن تمريرنا للفوتونات عبر عدسة يتيح معرفة اندفاعاتها لكنه يمحو معلومة مواضعها. وعندما يحدث ذلك يصبح مسارا الجزيئات غير متميزين من جديد، وترجع صورة التداخل.

لقد أهملنا مسألة تفصيلية حساسة سنعود إليها لأننا نريد أن نتوقف هنا للتفكير بإمعان فيما يحدث في سيرورة المحو التي عرضناها للتو. ذلك أن الغرابة تكمن فيها تحديدا. إن كشف الموضع الذي تبعثر منه أحد الفوتونات يعلمنا عن الشق الذي عبر منه الجزيء المبعثر. وهذا يعني أن الجزيء قد مر عبر أحد الشقين وليس عبر الشقين معا. أما كشف عزم الفوتون فيعني استحالة معرفة الشق الذي مر منه الجزيء؛ ثم إننا نستخلص عندما نقوم بقياسات عديدة للعزوم ونرى صورة التداخل أن الجزيئات مرت عبر الشقين (وإلا فمن المستحيل حصول التداخل).

وبعبارة أخرى إن الجواب عن السؤال «هل مر الجزيء عبر شق واحد أو عبر الشقين؟» يتوقف على ما سوف نفعله بالفوتونات المقابلة بعد مرور الجزيء. وهذا كما لو أن أفعالنا بالفوتونات تؤثر في ما وقع من أحداث سابقة. ويمكننا أن نكتشف من أين مرّ الجزيء أو أن نشطب هذه المعلومة من سجل الكون.

والأغرب في هذا كله هو أننا نستطيع أن نقرر اختيار القياس الذي سنقوم به بعد مرور الجزيء عبر الشق - يمكن أن يكون في حوزتنا جهاز لقياس كلا الخيارين، يحوي مفتاحا يقفز بنا من طريقة إلى أخرى قبيل أن يصل الفوتون. ويسمي الفيزيائيون هذا التغيير تجربة الاختيار المؤجل، وهذه الفكرة التي اقترحها <ج. أ. ويلر> [من جامعة أوستن في تكساس] تعمم السيناريو الذي استعمله <نيلز بور> و<ألبرت أينشتاين> في نقاشهما عام 1935 عن الميكانيك الكمومي وطبيعة الواقع.

وهنا قد يتساءل بعض القراء عن مشكلة أساسية قد تقوض ما قمنا بشرحه للتو: لماذا لا نؤجل اختيار قياس الفوتون حتى نرى إذا كان هناك نمط تداخل؟ يمكننا في الواقع أن نرتب الأمور على هذا النحو بأن نضع الحاجز الثاني (الذي يظهر عليه نمط التداخل) قريبا من حاجز الشقين ونضع كاشف الفوتونات بعيدا كثيرا عنهما

(*) What polarizes do to photons

(1) scatters

(2) momentum أو كمية الحركة أو الزخم

ماذا سيحصل إذا ما رأينا الأهداب التي تكونها الجزيئات واخترنا عندئذ موضع الفوتونات الذي يمنع الأهداب من التشكل؟ أليس في هذا **مفارقة**(4)؟ لا يمكننا يقينا أن نتوقع اختفاء التداخل الذي سجلناه! توحي محاكمة مشابهة أن في مقدورنا، باستعمال تأثير الاختيار المؤجل، نقل الرسائل آنيا أيا كانت المسافات (بالاحتيال على سرعة الضوء).

إن المسألة التفصيلية الحساسة التي أهملناها سابقا هي التي ستنقذنا الآن: إن رؤية تداخل الجزيئات بعد تطبيق المحاة الكمومية تتطلب في البداية تقسيم الجزيئات إلى زمرتين ومراقبة كل واحدة على حدة. ستظهر الزمرة الأولى صورة الأهداب الأصلية، في حين تظهر الثانية مقلوب الصورة الأولى، حيث تحط الجزيئات في مناطق الصورة الأولى المظلمة وتتجنب مناطق الأهداب المضيئة. إن تضام الزمرتين معا يملأ جميع الفجوات ومن ثم يخفي التداخل.

وتزول المفارقة لأننا نحتاج إلى بيانات من قياس الفوتونات لتحديد الزمرة التي ينتمي إليها الجزيء. وهكذا فلن نستطيع ملاحظة الأهداب إلا بعد قيامنا بقياس الفوتونات، وهو السبيل الوحيد لمعرفة كيفية توزع الجزيئات بين الزمرتين. لقد جرى تقسيم الجزيئات إلى زمرتين في التجربة المنزلية بشكل آلي، لأن المرشحة المستقطبة قد أوقفت إحدى الزمرتين. ولذلك فلن ترى إلا شكل تداخل الجزيئات التي مرت من خلال المستقطب. ويمكنك أن ترى في المرحلة الأخيرة نمطي تداخل الزمرتين جنبا إلى جنب.

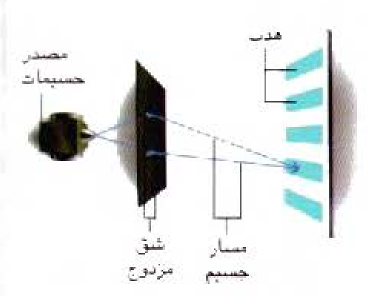
من الناحية العملية، قد يكون عدم قدرتنا على بث الرسائل بسرعة أكبر من سرعة الضوء مخيبا للأمل، لكن الفيزيائيين وعلماء المنطق يعتبرون ذلك سمة جيدة جدا. ■

كيف تعمل المحاة الكمومية(*)

كيف يمكن أن يعتمد سلوك الجسيمات الكمومية على طبيعة المعلومات التي يمكن الحصول عليها. تزيل المحاة الكمومية بعض المعلومات، وبذلك تستعيد ظاهرة التداخل. ويمكن فهم عمل المحاة بسهولة أكثر بأن ندخل في اعتبارنا تجربة «الشق المزدوج» (*في الأسفل*).

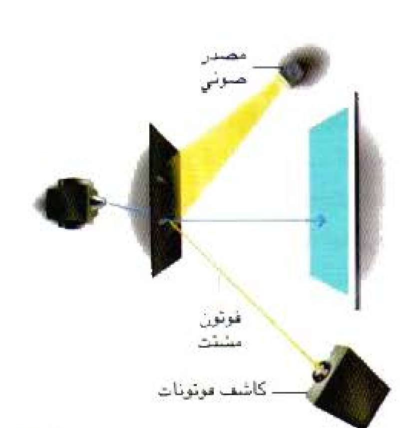
إحداث تداخل كمومي(1)

تولد الجسيمات المرسلة عبر الشقين نُطُقا (تسمى هُدُبا) على شاشة الكاشف. عندما تصل أعداد هائلة من الجسيمات إلى بعض المناطق (*باللون الأزرق*) وأعداد قليلة جدا إلى مناطق أخرى (*باللون الأبيض*) ونموذج التداخل هذا فقط ينتج إذا استطاع كل جسيم أن ينتقل خلال كلا الشقين لكي يصل إلى الحائل (*الأسهم*).



منع التداخل(2)

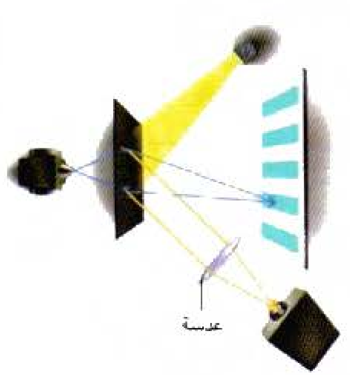
لن تظهر الهدب إذا تفاعلت الجسيمات مع شيء ما يمكن بذلك استخدامه للتأكد من موقع كل جسيم عند الشقين. على سبيل المثال، قد يشتت فوتون ضوئي (*الخط الأصفر*) من الجسيم كاشفا عن مروره من خلال الشق الأيمن. لسنا في حاجة إلى اكتشاف الفوتون - كل ما يهمّ هو أن معلومة «أي شق»، أساسا يمكن تحديدها من حيث المبدأ إذا ما تم اكتشافه.





محاة تستعيد التداخل(3)

تمحو المحاة الكمومية معلومة «أي شق». إذا شتت الجسيم فوتونا، فإنه يمكن لعدسة أن تجعل من المستحيل التأكد من أي شق جاء الفوتون. في هذه الحالة، يمر الجسيم المناظر ظاهريا من خلال كلا الشقين، كما حدث من قبل، ويمكن ملاحظة الهدب. أغرب سمة لهذا المحو الكمومي هو تصرف الجسيم عند الشق، حيث يبدو أنه يعتمد على ما يواجهه الفوتون بعد أن يمر الجسيم عبر الشق (الشقين).



(*) How a Quantum Eraser Works
(1) creating quantum interference
(2) preventing interference
(3) eraser restores interference
(4) paradox

المؤلفان

Rachel Hillmer - Paul Kwiat

كلاهما في جامعة إلينوي. <هيلمر> طالبة في مختبر <كويات>. و<كويات> يشغل كرسي باردين للفيزياء. وتشمل أبحاثه ظواهر الاستنطاق الكمومي والمحو الكمومي والتطبيقات البصرية لبروتوكولات المعلومات الكمومية والدراسات غير الكمومية وتقوم <هيلمر> بالبحث في طرق جديدة لتكويد المعلومات الكمومية في الضوء.

لمناقشات أكثر حول المحاة الكمومية، ارجع إلى الموقع www.sciam.com/ontheweb، حيث يمكنك أن تجد:

- قائمة تجارب تداخل الحافة القاطعة والمحاة الكمومية التي أجريت حديثا.
- مناقشة قصيرة حول دور المحاة الكمومية في كيفية انبثاق العالم العادي المعروف لنا من الواقع الضمني الكمومي الغريب.
- معلومات إضافية حول تجارب الاختيار المؤجل واستحالة الرسائل الأسرع من الضوء.
- بعض تجارب تتعلق بالموضوع ويمكنك إجراؤها في المنزل.

Scientific American, May 2007

البلازمونيات ميدانٌ علميٌّ واعد(*)

تقانةٌ تضغط الموجات الكهرمغنطيسية في بنىً دقيقة قد تفضي إلى ظهور جيلٍ جديد من الشيبات الحاسوبية الفائقة السرعة والكاشفاتِ الجزيئية الفائقة الحساسية.

<H. A. أتووتر>

الضوء وسط ممتاز لنقل المعلومات.

بات استعمال الألياف الضوئية واسعَ الانتشار في جميع أنحاء العالم؛ فهي تتميّز بالقدرة على توجيه الإشارات الضوئية التي تحمل دفقات ضخمة من الاتصالات الصوتية، وكمًا هائلا من البيانات. وقد حملت هذه القدرةُ الكبيرةُ نفرا من الباحثين على التنبُّؤ بأن التجهيزات الفوتونية ـ التي تنقل الضوءَ المرئي والموجاتِ الكهرمغنطيسية الأخرى وتعالجها ـ قد تحلُّ في يوم ما، محلَّ الدارات الإلكترونية في المعالجات الميكروية (الصُّغرية) وغيرها من الشيبّات الحاسوبية. ومن المؤسف أن يكون حجمُ التجهيزات الفوتونية وأداؤها مقيَّدَيْن بحدّ انعراج الضوء؛ إذ يتعيَّن، بسبب التداخل بين الموجات الضوئية المتقاربة، ألاّ يقلَّ عرضُ الليف الضوئي الحامل لها عن نصف طول موجة الضوء داخل المادة. وفي حالة الإشارات الضوئية المعتمدة على الشيبات والتي غالبا ما تستعمل أطوالا موجيّة قريبة من تحت الحمراء تناهز 15 000 نانومتر (أجزاء البليون من المتر)، فإن العرضَ في حدِّه الأدنى أكبر بكثير من أصغر التجهيزات الإلكترونية المستعملة حاليا. وعلى سبيل المثال فإن بعض الترانزستورات في الدارات المتكاملة السيليكونية تستعمل مقوِّمات بقياس أصغر من 100 نانومتر.

على أن العلماء، يعكفون، منذ عهدٍ قريب، على دراسة جدوى تقنية جديدة لبثّ الإشارات الضوئية عبر بنىً دقيقة نانوية القياس. فقد أكّدت تجارب الباحثين في ثمانينات القرن الماضي، أن توجيه الموجات الضوئية إلى واجهة الترابط بين معدنٍ وعازل (مادة غير موصلة، كالهواء، أو الزجاج) يمكن أن يحرِّض تآثرا طنينيا بين الموجات والإلكترونات المتحركة على سطح المعدن إذا توفرت الظروف الملائمة (في حالة استعمال معدن موصل، لا تكون الإلكترونات شديدةَ الارتباط بالذرات أو الجزيئات المنفردة) وبعبارة أخرى، فإن ذبذبات الإلكترونات عند السطح تطابق ذبذباتِ الحقل الكهرمغنطيسي خارج المعدن. وينجم عن ذلك تولُّد **بلازمونات سطحية** surface plasmons، وهي موجات كثافة الإلكترونات المنتشرة على امتداد الواجهة (السطح البيني) بما يشبه التموُّجاتِ الدائريةَ المتتابعةَ التي تنتشر على سطح ماء بركة عند رمي حجر فيها.

وعلى مدى العقد الماضي، وجد الباحثون أن بإمكانهم، عن طريق تصميم **واجهة المعدن العازل** metal-dielectric interface تصميما إبداعيا، توليد بلازمونات سطحية لها تردُّد الموجات الكهرمغنطيسية الخارجية نفسُه، ولكن بطول موجيٍّ أقصر بكثير. وتتيح هذه الظاهرةُ انتقال البلازمونات على أسلاك نانوية القياس تسمى **الوصلات البينية** interconnects، حاملة المعلومات من جزء من المعالج الميكروي إلى جزء آخر منه. وقد تمثِّلُ الوصلاتُ البينية البلازمونية نعمة كبرى لمصمِّمي الشيبات، الذين صاروا قادرين على صنع ترانزستورات أصغر حجما وأسرع أداء من أي وقت مضى. غير أنهم يعانون الآن صعوبة أكبر في إنشاء داراتٍ إلكترونية دقيقة تستطيع نقل البيانات بسرعة عبر الشيبة.

وفي عام 2000 أطلق فريقُ العمل الذي أنتمي إليه في معهد كاليفورنيا للتقانة اسم «**البلازمونيات**» plasmonics على هذا الميدان العلمي الناشئ، مدركا أن البحث في هذا المضمار قد يؤدي إلى ظهور صنف غير مسبوق من التجهيزات. وربما غدا ممكنا في آخر المطاف استعمالُ المكوِّنات البلازمونية في مجالاتٍ واسعة من الأدوات، بهدف تحسين قدرة **الميْز**[1] resolution في الميكروسكوبات (المجاهر) العلمية، وتعزيز فاعلية **الدايودات الباعثة للضوء** light-emitting diodes (LED)[2] وحساسية أجهزة الكشف الكيميائية

نظرة إجمالية/ البلازمونيات(**)

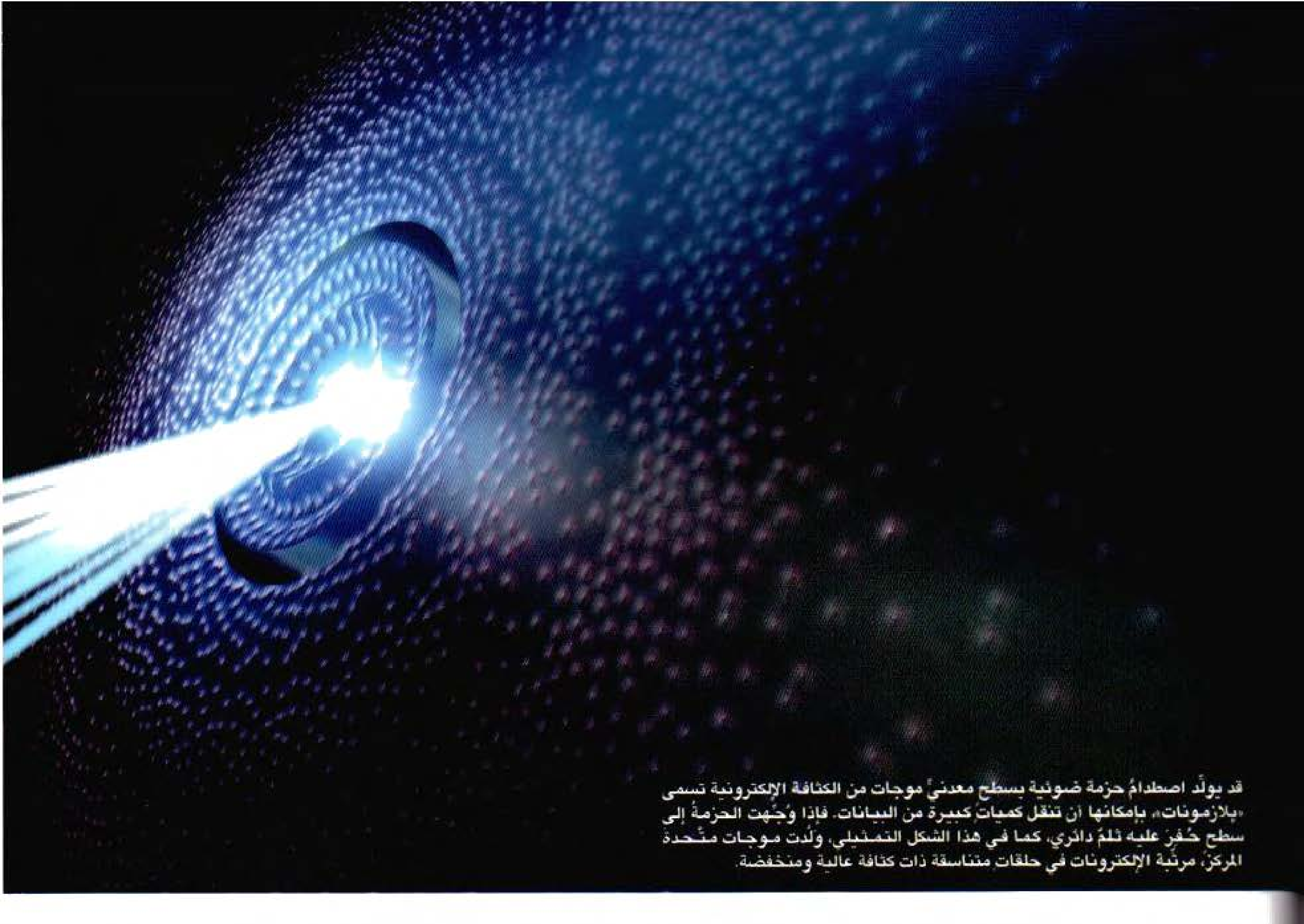
- **اكتشف الباحثون أن بإمكانهم ضغط الإشارات الضوئية في أسلاكٍ دقيقة باستعمال الضوء، لتوليد موجات كثافة إلكترونية تسمى «بلازمونات» plasmons.**
- **ربما تساعد الداراتُ البلازمونية مصمِّمي الشيبات الحاسوبية على صنع وصلاتٍ بينية قادرة على نقل مقاديرَ كبيرة من البيانات عبر شيبة. كذلك قد تحسِّن المكوِّناتُ البلازمونيةُ قدرةَ الميْز[1] في المعالجات الميكروية (الصُّغرية)، وفاعليةَ الدايودات الباعثة للضوء[2]، وحساسيةَ أجهزة الكشف الكيميائي والبيولوجي (الحيوي).**
- **لقد ذهبَ بعضُ الباحثين حتى إلى الاعتقاد بقدرة المواد البلازمونية على تغيير طبيعة الحقل الكهرمغنطيسي المحيط بجسمٍ ما إلى درجة تجعل هذا الجسم غير مرئي.**

(*) THE PROMISE OF PLASMONICS

(**) Overview/ Plasmonics

(1) درجة الوضوح.

(2) light-emitting diodes: عناصر شبه موصلة (نصف ناقلة)، تحوِّل الطاقة الكهربائية إلى ضوء. (التحرير)



قد يولِّد اصطدامُ حزمة ضوئية بسطح معدنيّ موجات من الكثافة الإلكترونية تسمى «بلازمونات». بإمكانها أن تنقل كمياتٍ كبيرة من البيانات. فإذا وُجِّهت الحزمةُ إلى سطح حُفِرَ عليه ثلمٌ دائري، كما في هذا الشكل التمثيلي، وُلِّدت موجات متَّحدة المركز، مرتّبة الإلكترونات في حلقات متناسقة ذات كثافة عالية ومنخفضة.

والبيولوجية. ويُذكر أن العلماء يدرسون أيضا بعضَ التطبيقات الطبّية، وذلك بتصميم جُسَيْمات دقيقة يمكنها استعمال ما يسمى خاصّية **الامتصاص الرنيني البلازموني** plasmon resonance absorption للقضاء على النُّسُج السرطانية مثلا؛ بل إن بعض الباحثين يفترض نظريا أن بإمكان مواد بلازمونية معيَّنة تغيير طبيعة الحقل الكهرمغنطيسي المحيط بجسم ما، إلى درجة ربما تجعل هذا الجسم غير مرئي. ومع أن هذه التطبيقات المحتملة قد لا تكون جميعها قابلة للتطبيق عمليا، يُقْبِل العلماءُ على دراسة مبحث البلازمونيات بشغف، لأنهم يرون أن هذا الميدان العلمي الجديد يؤذن بفتح آفاقٍ من شأنها أن تسلِّط الضوء على الجوانب الغامضة من العالَم النانوي.

أطوال موجية متقلّصة(*)

منذ آلاف السنين كان **الخيميائيون** alchemists وصانعو الزجاج يستفيدون، من غير قصد، من الآثار البلازمونية في صناعة زجاج النوافذ الملوَّن والأقداح الملوَّنة التي تحتوي على جُسَيْمات معدنية في الزجاج. ولعلّ أبرز مثال على ذلك **قدح لايكُرْكس**(1) Lycurgus cup، وهو قدحٌ روماني يعود إلى القرن الرابع الميلادي، وهو حاليا من مقتنيات المتحف البريطاني [*انظر الشكل في الصفحة 75*]. فعندما تحدث إثارة بلازمونية للإلكترونات في الجسيمات المعدنية العالقة ضمن القالب الزجاجي، يمتصُّ القدح الضوءَ الأزرق والأخضر، الذي يمثِّل الأطوالَ الموجيَّة القصيرةَ نسبيا من الطيف المرئي، وتُبَعْثِرُه. ويضفي التبعثرُ البلازموني إلى القدح ظلالا لونية ضاربة للخضرة لدى النظر إليها في ضوء منعكس. غير أن الزجاجَ يبدو أحمر اللون إذا وُضِعَ منبعٌ ضوئيٌّ أبيض داخل القدح، لأنه لا يبثُّ في هذه الحالة سوى الأطوال الموجيّة الطويلة، ويمتصُّ الأطوالَ الموجيّة القصيرة.

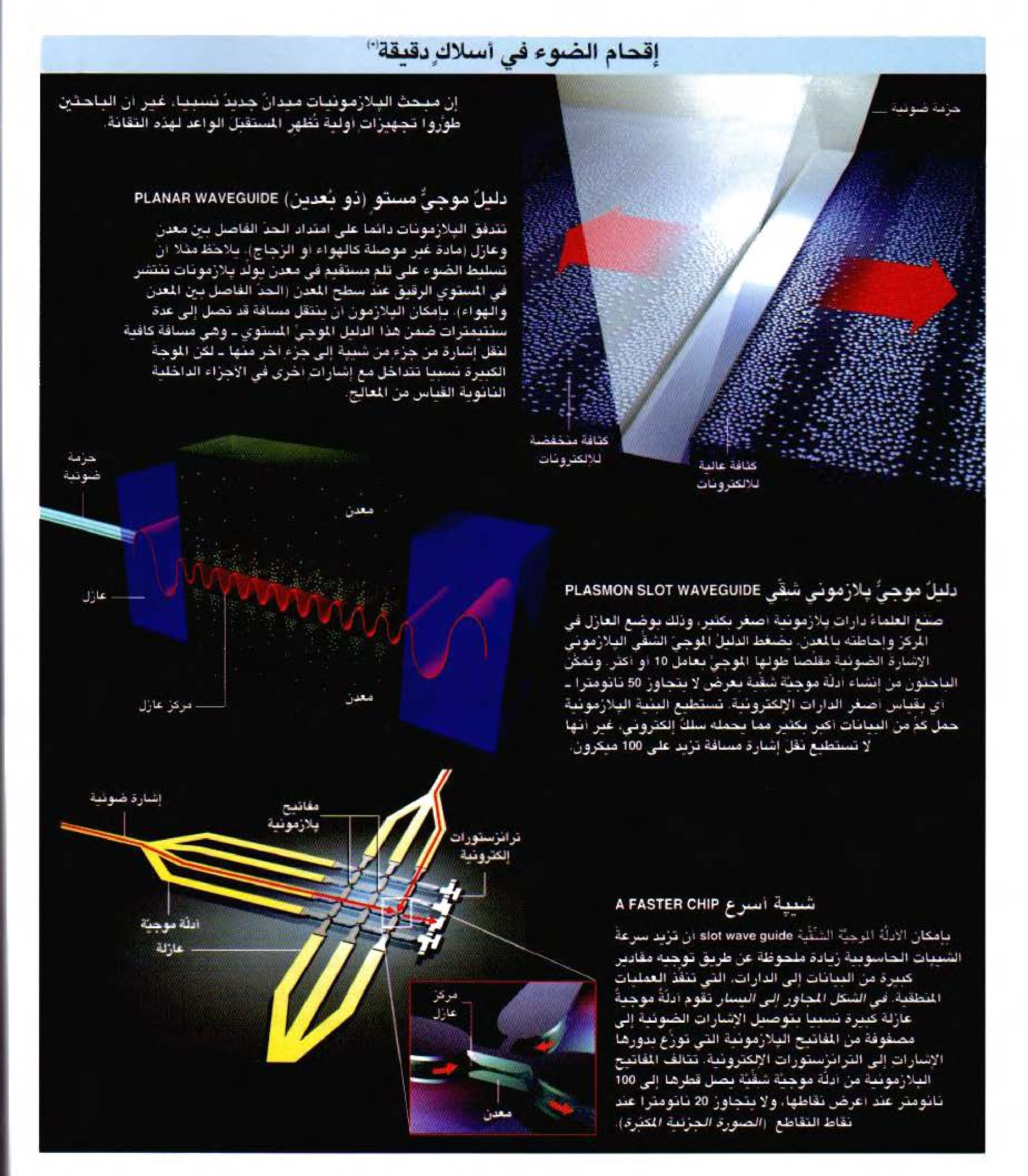
وقد بدأ البحثُ الجدّي في مضمار البلازمونات السطحية في ثمانينات القرن الماضي، عندما درسَ الكيميائيون chemist هذه الظاهرة باستعمال **طيفيات رامان** Raman spectroscopy التي تتضمَّن رصدَ تبعثُر الضوء الليزري عن عيِّنة بغية تحديد بنيتها من الاهتزازات الجزيئية. وفي عام 1989 وجدَ .T إيبيسن [من معهد أبحاث شركة نيبون اليابانية]، عندما أضاءَ **فيلما** film ذهبيا يحمل ملايين الثقوب الميكروسكوبية (المجهرية)، أن هذا الفيلم قد أنفذ كمية من الضوء أكبر مما يُتوقَّع من عدد الثقوب وقياساتها. وبعد تسع سنوات خلص «إيبيسن» وزملاؤه إلى أن البلازمونات السطحية الموجودة على الفيلم كانت تزيد من شدَّة نقل الطاقة الكهرمغنطيسية.

وقد شهدَ مبحثُ البلازمونيات جانبا آخر من التقدم باكتشاف **مواد مرفَّعة** metamaterials قد تتكشَّف ذبذباتُ الإلكترونات فيها عن خواصَّ ضوئية مذهلة [انظر: «*البحث من أجل صنع عدسة فائقة*»، **العلوم**، العددان 3/2 (2007)، ص 60]. يضاف إلى ذلك صنفان

(*) Shrinking Wavelengths

(1) المنسوب إلى لايكُرْكس، وهو مشرِّع ومصلح إسبارطي في القرن التاسع قبل الميلاد، يُعتقد أنه واضع دستور اسبارطة القديمة ونظامها العسكري. (التحرير)

إقحام الضوء في أسلاكٍ دقيقة(*)

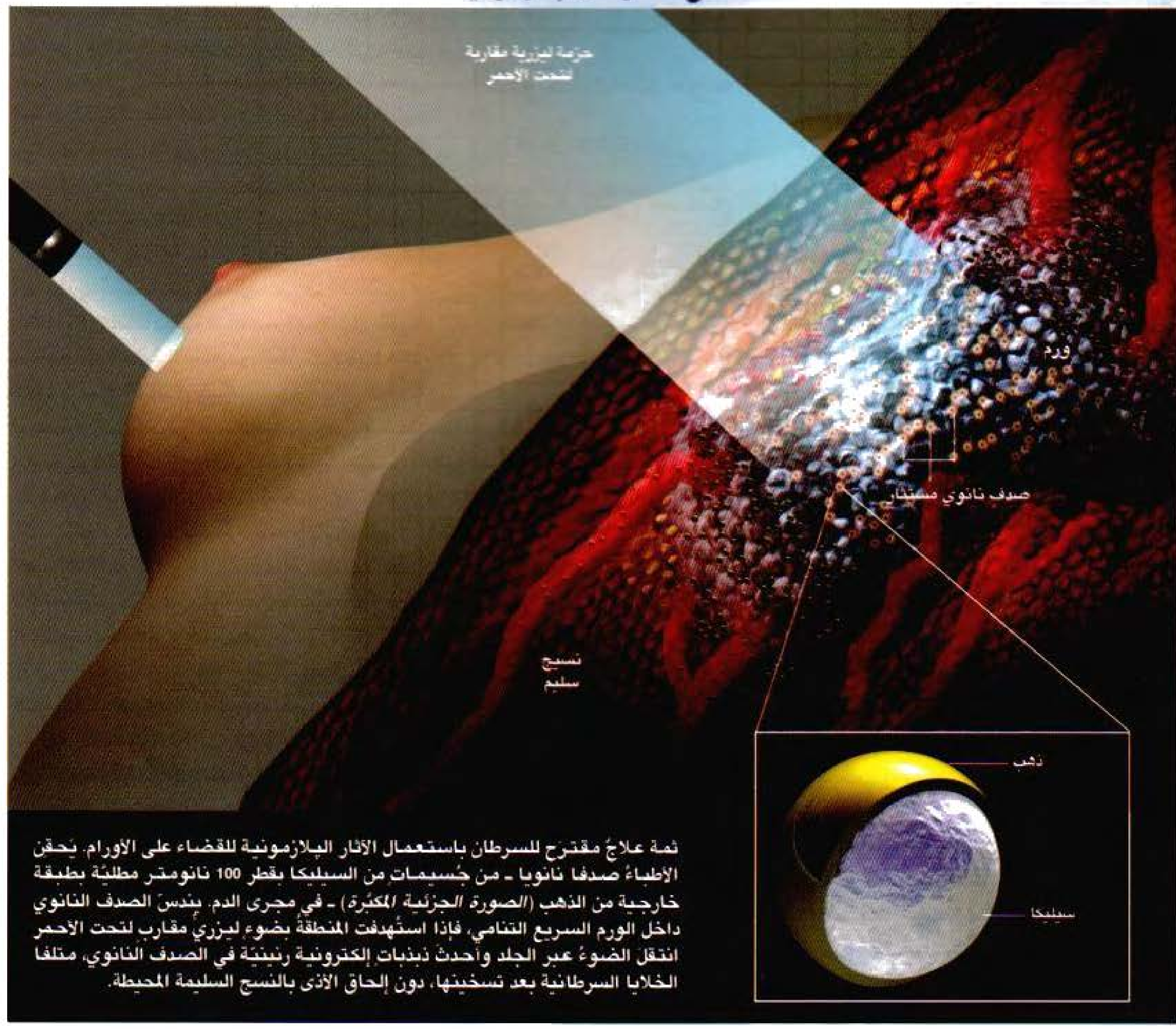


جديدان من الأدوات أسهما أيضا في إحراز تقدُّم متسارع في مجال البلازمونيات: فقد أتاح تنامي القدرة الحاسوبية حديثا للباحثين إجراء عمليات محاكاة صحيحة للحقول الكهرمغنطيسية المعقّدة المتولّدة بفعل تأثيرات بلازمونية: كما مكّنَ ظهورُ طرائقَ جديدة لإنشاء بُنىً نانوية القياس من صنع واختبار تجهيزاتٍ وداراتٍ بلازمونية غاية في الصِّغَر.

وقد يبدو لأول وهلة أن استعمال البُنى المعدنية لبثّ الإشارات الضوئية غيرُ عملي، لأن المعادن معروفةٌ بارتفاع نسبة فقدها الضوئي. إذ إن الإلكترونات المتذبذبة في المجال الكهرمغنطيسي تصطدم بشبكة الذرّات المحيطة، وسرعان ما تبدّد طاقةَ ذلك المجال غير أن نسبَ الفقْد البلازموني تكون أدنى عند الحدّ الفاصل بين

(*) Funneling Light Into Tiny Wires

علاج السرطان پلازمونيًا(*)



ثمة علاجٌ مقترح للسرطان باستعمال الآثار الپلازمونية للقضاء على الأورام. يَحقن الأطباءُ صدفا نانويا ـ من جُسيمات من السيليكا بقطر 100 نانومتر مطليّة بطبقة خارجية من الذهب (*الصورة الجزئية المكبَّرة*) ـ في مجرى الدم. يندسّ الصدف النانوي داخل الورم السريع التنامي، فإذا استُهدفت المنطقةُ بضوءٍ ليزريٍّ مقاربٍ لتحت الأحمر انتقل الضوءُ عبر الجلد وأحدث ذبذباتٍ إلكترونية رنينيّة في الصدف النانوي، متلفا الخلايا السرطانية بعد تسخينها، دون إلحاق الأذى بالنسج السليمة المحيطة.

فيلم معدني رقيق وعازل أدنى منها في داخل جملة معدنية، لأن المجال الكهرمغنطيسي ينتشر في داخل المادة غير الموصلة، حيث لا وجود لإلكترونات حرَّة متذبذبة. ومن ثم لا وجود لتصادمات تُبَدِّد الطاقة. ومن شأن هذه الخاصية بطبيعتها أن تحصر الپلازمونات على السطح المعدني المتاخم للعازل: ففي بنية **شطيرية** sandwich تحتوي على عازل وطبقات معدنية مثلا، لا تنتشر الپلازمونات السطحية إلا في السطح الرقيق عند الواجهة البينية حصرا [*انظر الشكل العلوي من المؤطَّر في الصفحة المقابلة*]

ولما كانت هذه البُنى الپلازمونية المستوية بمثابة **أدلّة موجيّة** waveguides توجِّه الموجات الكهرمغنطيسية على امتداد الحدّ الفاصل بين المعدن والعازل، فإنها قد تكون مفيدة في نقل إشارات على شيپة. ومع أن الإشارة الضوئية تتكبّد نسبة فَقْد أعلى في معدن منها في عازل كالزجاج، فقد ينتقل الپلازمون في دليل موجيٍّ رقيق الغشاء مسافة سنتيمترات قبل أن يختفي. ويمكن رفع طول الانتشار إلى حدِّه الأعظمي إذا ما اتُّخذ الدليلُ الموجيُّ نمطا لاتناظريا يدفع جزءا كبيرا من الطاقة الكهرمغنطيسية بعيدا عن الغشاء المعدني الدليل، إلى داخل العازل المحيط. وبذلك تنخفض نسبةُ الفقد. وبسبب تأثر الحقول الكهرمغنطيسية عند السطحين العلوي والسفلي للغشاء المعدني، فإن بالإمكان تعديل تردُّدات الپلازمونات وأطوالها الموجيّة بتغيير سُمك الغشاء نفسه. ويجدر بالذكر أنه في عقد التسعينات من القرن الماضي استحدثت مجموعاتُ بحثٍ يرأسها <S. بوزيفولني> [من جامعة البورگ في الدنمارك] و <P. بيريني> [من جامعة أوتاوا] مكوِّنات پلازمونية مستوية ذات قدرة على أداء كثير من الوظائف (من قبيل شطر الموجات الموجَّهة) التي تؤديها عادة تجهيزات مصنوعة جميعها من مواد عازلة فقط. وربما تُثْبِت هذه البُنى فاعليتها في نقل البيانات من جزء من شيپة إلى جزء آخر منها. غير أن الحقول الكهرمغنطيسية اللازمة للپلازمونات أوسع بكثير من أن تنقل إشارات عبر الأجزاء الداخلية النانوية القياس من المعالج.

ولتوليد پلازمونات قادرة على الانتشار عبر أسلاك نانوية

(*) Plasmonic Therapy for Cancer

القياس، تحرّى الباحثون أنماطا هندسية أكثر تعقيدا للأدلّة الموجيّة، بإمكانها تقليص الطول الموجيّ للإشارة عن طريق إقحامها في حيِّز ضيّق. ففي أواخر تسعينات القرن الماضي انطلقت المجموعةُ المختبرية التي أعمل فيها شخصيا، على التوازي مع فريق بحث برأسه «J. كرين» [من جامعة گراز النمساوية] في مسعى لتوليد هذه الأدلة الموجيّة «دون الطول الموجي» ذات البلازمونات السطحية. وقد تمكّن «S. ماير» [عندما كان يعمل معي في مختبرات كالتك] من إنشاء بنية تتألف من سلاسل خطّية نقطية من الذهب لا يتعدّى قطرُ كلٍّ منها 100 نانومتر. إذ أحدثت حزمة مرئية يبلغ طولها الموجي 570 نانومترا ذبذبات طنينية في النقاط، مولِّدة بلازمونات سطحية انتقلت على طول السلاسل واقتصرت على مسار مسطّح لا يتجاوز ارتفاعه 75 نانومترا. كذلك توصلت مجموعةُ جامعة گراز إلى نتائج مشابهة، وصوّرت أنماط البلازمونات المنتقلة على امتداد السلاسل. على أن معدّلات فَقْد الأسلاك النانوية الناجمة عن الامتصاص كانت عالية نسبيا، فتسبّبُ ذلك في اختفاء الإشارة بعد انتقالها مسافة تراوح بين عدة مئات النانومترات وبضعة ميكرونات (أجزاء المليون من المتر). وهكذا ثبتَ أن الأدلّة الموجيّة لا تصلح إلا للتوصيلات البينية ذات المدى القصير جدا.

تنتشر البلازمونات بما يشبه التموُّجات الدائرية المتلاحقة التي تتوسَّع على سطح بركة عند رمي حجر في الماء.

ومن حسن الحظ أن بالإمكان تخفيض معدّلات الفقد الناجمة عن الامتصاص إلى حدودها الدنيا عن طريق قلب وضع الأدلّة الموجيّة البلازمونية، بحيث يوضع العازل في المركز محاطا بالمعدن [*انظر الشكل الأوسط من المؤطّر في الصفحة 72*]. يلاحَظ في هذه التجهيزة - التي تسمى **الدليل الموجيّ الشقّي البلازموني** plasmon slot waveguide - أن تعديل سُمك المركز العازل يغيِّر من الطول الموجيّ للبلازمونات. وقد برهن المختبر الذي أعمل فيه [في كالتك] وكذلك مجموعة «M. برونگرزما» [التابعة لجامعة ستانفورد]، على أن الأدلّة الموجيّة الشقّيّة البلازمونية قادرةٌ على نقل إشارة ما مسافة قد تبلغ عشرات الميكرونات. ويُذكر في هذا السياق أن «H. ميازاكي» [من المعهد الوطني لعلم المواد في اليابان] قد أحرز نتيجة باهرة عندما نجح في إقحام ضوء أحمر (ذي طول موجيّ يبلغ 651 نانومترا في الفضاء الحرّ) ضمن دليل موجيّ شقّي بلازموني لا يتجاوز سُمكه 3 نانومترات وعرضه 55 نانومترا. ووجد الباحثون أن طول موجة البلازمون السطحي المنتشر في أنحاء التجهيزة بلغ 51 نانومترا، أو نحو 8 في المئة من طول موجة الفضاء الحرّ.

ومن ثم صار بإمكان ميدان البلازمونيات توليد إشارات في مجال الأطوال الموجيّة الخاصة بالأشعة السينية الضعيفة النفاذية (الواقعة بين 10 و 100 نانومتر)، وذلك بإثارة المواد باستعمال الضوء المرئي. ويمكن هنا تخفيض طول الموجة بما يزيد على عامل 10 بالنسبة إلى قيمته في الفضاء الحرّ، مع بقاء تردُّد الإشارة كما هو. (تبقى العلاقةُ الأساسية بين القيمتين - الترددُ مضروبا في طول الموجة يساوي سرعة الضوء - مصونة لأن الموجات الكهرمغنطيسية تتباطأ في أثناء تحرُّكها على طول الحدّ الفاصل بين المعدن والعازل). ومن شأن هذه القدرة اللافتة على تقليص الطول الموجيّ أن تفتح الطريقَ أمام البُنى البلازمونية النانوية القياس، التي يمكنها أن تحلَّ فقط محلَّ الدارات الإلكترونية المحتوية في مكوّناتها على أسلاك وترانزستورات.

وكما أن **الطباعةَ الحجرية**[1] تُستعمل حاليا في طبع نماذج الدارات على الشيپات السيليكونية، فإن من الممكن بعملية مشابهة إنتاج تجهيزات بلازمونية دقيقة على نطاق واسع، تتميَّز بانساق من الخطوط والفجوات العازلة الضيّقة التي توجِّه الموجات ذات الشحنتين الموجبة والسالبة على سطح المعدن، علما بأن كثافات الشحنة المتناوبة تكون شبيهة جدا بالتيار المتناوب المارّ في سلكٍ عادي. ولكن لما كان تردُّد الإشارة الضوئية أعلى بكثير من تردُّد الإشارة الكهربائية - جيگاهرتز أو يزيد مقابل 60 هرتز - فإن الدارة البلازمونية تستطيع حمل كمٍّ أكبر بكثير من البيانات. كذلك، وبسبب أن الشحنةَ الكهربائية لا تنتقل من طرف دارة بلازمونية إلى طرفٍ آخر منها - إذ تتجمَّع الإلكترونات وتتوزَّع كلاً على حدة بدلا من أن تتدفق في اتجاه واحد - فإن التجهيزة ليست خاضعة لتأثيرات **المقاومة** resistance و**المواسعة** capacitance، التي تحدُّ من قدرة الدارات المتكاملة المزوَّدة بوصلاتٍ بينيّة كهربائية على نقل البيانات.

وقد تكون الداراتُ البلازمونية أكبر سرعة وأجدى نفعا لو استطاع الباحثون استنباط مفتاح «پلازموني» - وهو تجهيزةٌ پلازمونية ثلاثية الأطراف ذات خصائص شبيهة بالترانزستور. وفي الآونة الأخيرة، طوَّرت المجموعةُ المختبرية التي أعمل معها في كالتك وغيرها من مجموعات البحث، إلى عهد قريب، نماذجَ منخفضة القدرة من هذا المفتاح. فإذا نجح العلماء في إنتاج مفاتيحَ پلازمونية أعلى أداءً، فربما شكّل ذلك أساسا لمنظومة فائقة السرعة لمعالجة الإشارات تكون بمنزلة فتحٍ مبين في مضمار الحوسبة في غضون 10 إلى 20 سنة من الآن.

صدف نانوي وأقنعة تَخَفٍّ(*)

على أن الاستعمالات المحتملة للتجهيزات البلازمونية لا تقتصر على مجال الحاسوب، بل تتجاوزه كثيرا: فقد استحدثت «N. هالاس» و «P. نوردلاندر» [من جامعة رايس] بنىً سُمِّيت **صدف نانوي** nanoshells، تتألف من طبقة رقيقة من الذهب - بسُمك نحو 10 نانومترات عادة - رُسِّبت حول كامل سطح جُسَيْم من السيليكا يقارب قطره 100 نانومتر. وعند تعريضه للموجات الكهرمغنطيسية تتولَّد ذبذباتٌ إلكترونية داخل **الصَّدَفة** shell الذهبية؛ وبسبب **التآثر الاقتراني** coupling interaction بين الحقول على السطحين الداخلي والخارجي للصَّدَفة، فإن تغيير حجم الجُسَيم وسُمك الطبقة الذهبية يُحدِث بدوره تبدُّلا في الطول الموجيّ الذي يمتصُّ عنده الجسيمُ الطاقة محدثا طنينا. وبهذه الطريقة يتمكّن الباحثون من تصميم صدف نانوي

(*) Nanoshells and Invisibility Cloaks

(1) lithography

لكي يمتصَّ، بصورة انتقائية، أطوالا موجيّة قصيرة جدا لا تتجاوز بضع مئات النانومترات (النهاية الزرقاء للطيف المرئي) أو طويلة تقارب 10 ميكرونات (اللون القريب من تحت الأحمر).

وقد حوَّلت هذه الظاهرةُ الصدفَ النانويَّ إلى وسيلة واعدة لعلاج السرطان: ففي عام 2004 قامت «هالاس»، بالتعاون مع زميلتها «ل. ويست» [من جامعة رايس أيضا]، بحقن صدف نانوي پلازموني في مجرى الدم لفئران مصابة بأورام سرطانية، ووجدت أن الجسيمات غير سامة، بل إن الصدف النانوي كان ينزع إلى الاندساس في نسج الفئران السرطانية، لا في نسجها السليمة، بسبب تدفُّق مزيد من الدماء في النواحي الوَرَميّة السريعة التنامي. (وقد يُربط الصدف النانويُّ أيضا **بالأضداد (الأجسام المضادة)** antibodies للتثبُّت من أنها تستهدف المواضع المصابة).

ومن دواعي السرور أن النسجَ البشرية والحيوانية تكون شفافة للإشعاع عند أطوالٍ موجيَّة تحت حمراء معيَّنة. فعندما وُجِّه ضوءٌ ليزريٌّ قريبٌ من تحت الأحمر عبر جلد الفئران إلى الأورام مباشرة، لوحظ أن الامتصاص الطنيني للطاقة في الصدف النانوي المدسوس قد رفعَ درجةَ حرارة النسج السرطانية من نحو 37 درجة مئوية إلى نحو 45 درجة مئوية.

وفي حين قَتَلَ التسخينُ الحراري ـ الضوئي الخلايا السرطانية، بقي النسيجُ السليمُ المحيط دون أن يُمسَّ بأذى. وفي حين اختفت الأعراضُ السرطانية تماما في الفئران التي عولجت بالصدف النانوي في غضون عشرة أيام، استمرت الأورامُ بالتنامي السريع في مجموعات المراقبة. هذا ويسعى حاليا مختبرُ العلوم البيولوجية الطيفية النانوية [ومقرُّه هيوستن] إلى الحصول على إذنٍ من إدارة الأغذية والعقاقير لإجراء اختبارات سريرية على المداواة بالصدف النانوي لمرضى يعانون سرطانات في الرأس والعنق.

كذلك قد تُحْدِث الموادُّ الپلازمونية تغييرا جذريا في صناعة الإنارة، وذلك بجعل الدايودات الباعثة للضوء ساطعة بدرجة تضاهي المصابيح المتوهجة. ومنذ ثمانينات القرن الماضي، أدرك الباحثون أن الأثر الپلازموني اللافت للمجال الضوئي عند الحدود الفاصلة بين المعدن والعازل يمكن أن يزيد من معدَّل إصدار الأصبغة اللامعة الموضوعة قريبا من سطح المعدن. وصار من الواضح، إلى عهد قريب، أن هذا النوع من التعزيز المجالي يمكنه أن يرفع إلى حدٍّ بعيد معدَّلاتِ إصدار **النقط الكمومية** quantum dots و**المنابع الكمومية** quantum wells، وهي بنى شبه موصلة صغيرةٌ جدا تَمتصُّ الضوءَ وتُطلقه ـ وبذلك يزيد من فعالية الدايودات الضوئية الصلبة. وفي عام 2004 برهن زميلي في مختبرات كالتك «A. شيرر»، بمشاركة زملاء من شركة نيكيا اليابانية، أن طليَ سطح دايود باعث للضوء من نتريد الگاليوم بطبقات كثيفة من جسيمات نانوية پلازمونية (مصنوعة من الفضة أو الذهب أو الألمنيوم) قد يزيد من شدة الضوء المنبعث 14 ضعفا.

ثم إن الجُسَيْمات النانوية الپلازمونية قد تمكِّن الباحثين من صنع دايودات ضوئية من السيليكون، ومثل هذه الأدوات أرخص تكلفة بكثير من الدايودات الضوئية التقليدية المصنوعة من نتريد الگاليوم أو زرنيخيد الگاليوم. ومع ذلك فهي مستبعدة حاليا بسبب انخفاض معدَّلات إصدارها الضوئي. وقد أثبتت مجموعةُ العمل التي أنتمي إليها في كالتك، بالتعاون مع فريق آخر يرأسه «A. پولمان» [من معهد FOM للفيزياء الذريّة والجزيئيَّة في هولندا] أن اقتران بنىً نانوية پلازمونية مصنوعة من الفضة أو الذهب بمصفوفات كمومية نقطية مصنوعة من السيليكون قد يضاعف إصدارها الضوئي 10 مرات. يضاف إلى ذلك إمكان توليف تردُّد الإصدارات المعزَّزة عن طريق تعديل أبعاد الجسيمات النانوية. وتشير حساباتنا إلى أن التوليف الدقيق لتردُّد الطنين الپلازموني، والتحكُّم المتقن في الفصل بين الجسيمات المعدنية والمواد شبه الموصلة، ربما مكَّنانا من رفع المعدَّلات الإشعاعية بما يزيد على 100 ضعف، وبذلك تصير الدايودات الضوئية السيليكونية قادرة على الإضاءة بدرجة من التألُّق تضاهي المصابيح التقليدية.





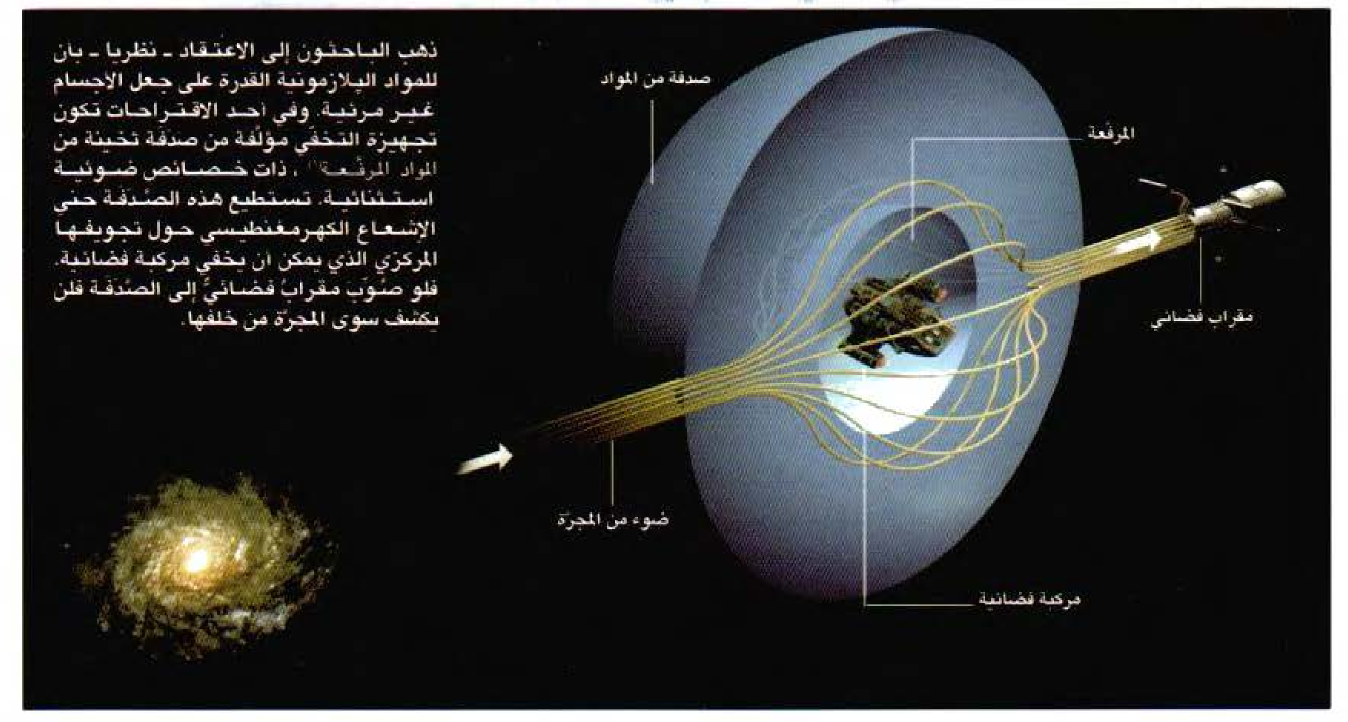
يتغير لون قدح لايكُرگس، وهو قدح روماني يعود إلى القرن الرابع الميلادي، بسبب الاستثارة الپلازمونية للجسيمات المعدنية الموجودة ضمن قالب القدح، فيبدو القدح أحمر اللون لدى وضع منبع ضوئيّ داخل هذا القدح الضارب ـ بحالته الطبيعية ـ إلى اللون الأخضر.

حتى إن العلماء منصرفون حاليا إلى ابتداع نظير پلازمونيّ للّيزر. فقد أعطى كلٌّ من «A. ستوكمان» [من جامعة ولاية جورجيا] و«D. بيرگمان» [من جامعة تل أبيب] توصيفا لفيزياء مثل هذه التجهيزة التي أطلقا عليها اسم سپيزر SPASER (مختصر **تضخيم الپلازمون السطحي بانبعاثات الإشعاع المستحث**)(1). ومع أن وجود السپيزر وجودٌ نظريٌّ حتى الآن، فإن الباحثين يطرحون طرائق لتصنيعه باستعمال نُقط كمومية شبه موصلة وجُسَيْمات معدنية، بحيث يجري تحويل الطاقة النسبية الناشئة عن النقط الكمومية إلى پلازمونات تخضع بعد ذلك للتضخيم في مرنان پلازموني. ولما كانت الپلازمونات المتولّدة من السپيزر أكثر إحكاما من الحزمة الليزرية التقليدية، فإن بإمكان هذه الأداة أن تعمل بقدرة منخفضة جدا، وأن تستثير أجساما صغيرة جدا بصورة انتقائية. ونتيجة لذلك يُنتظر أن تكون السپيزرات قادرة على أن تجعل الدراسات الطيفية أكثر دقَّة، وأن تمهِّد السبيل لأدوات الكشف عن المواد الخطرة في تعرُّف مقادير صغيرة جدا من المواد الكيميائية أو الڤيروسات.

ولعلَّ من أطرف التطبيقات المفترَضة للپلازمونيات ابتكار قناع للتخفّي. ففي عام 1897 نشر الروائي الإنكليزي «G. H. ويلز»

(1) surface plasmon amplification of stimulated emission of radiation

كيف قد يمكن لتجهيزة تخفٍ أن تعمل[*]



ذهب الباحثون إلى الاعتقاد - نظريا - بأن للمواد البلازمونية القدرة على جعل الأجسام غير مرئية. وفي أحد الاقتراحات تكون تجهيزة التخفّي مؤلّفة من صدفة ثخينة من المواد المرفِعة[1]، ذات خصائص ضوئية استثنائية. تستطيع هذه الصدفة حني الإشعاع الكهرمغنطيسي حول تجويفها المركزي الذي يمكن أن يخفي مركبة فضائية. فلو صُوِّب مقرابٌ فضائيٌّ إلى الصدفة فلن يكشف سوى المجرّة من خلفها.

قصة «*الرجل الخفي*» *The Invisible Man* التي تحكي تجربة عالِم شابٍّ يكتشف كيف يجعل **مُعامِل الانكسار** refractive index لجسده مساويا لمعامل انكسار الهواء، فصار الرجلُ غيرَ مرئي. (مُعامِل انكسار المادة يمثّل نسبةَ سرعة الضوء في الخواء إلى سرعته في المادة). فإذا استُثيرت بنيةٌ پلازمونية بإشعاعٍ يقارب قيمةَ تردُّدها الرنيني، فذلك جدير بأن يجعل مُعامِلَ انكسارها مساويا لمعامل انكسار الهواء، أي إنها عادت لا تكسر الضوءَ ولا تعكسه. وغدا بإمكان البنية امتصاص الضوء.. غير أنها لو طُليتْ بمادة تولِّد **كسبا ضوئيا** optical gain - أي تُضخِّم الإشارةَ المبثوثة تماما كما يفعل المرنانُ في السپيرزر - لتعادلت الزيادةُ في الشدّة مع نسب الفقْد بالامتصاص. ولصارت البنيةُ غيرَ مرئية، على الأقل باستعمال الإشعاع في مجالٍ مختار من الترددات.

على أن قناعَ التخفي الحقيقيَّ يجب أن يكون قادرا على حجب كلِّ ما هو موجود ضمن البنية، وأن يعمل بفاعلية عند مختلف تردُّدات الضوء المرئي. ولاشك أن ابتداع مثل هذه الأداة سيكون أكثر صعوبة. ومع ذلك يرى بعضُ الفيزيائيين أنه غير متعذر. ففي عام 2006 برهن <J. B. بندري> [من كلية إمپيريال الجامعية، لندن] وزملاؤه على أن بإمكان صدفة من **المواد المرفِعة** أن تغيِّر - نظريا - مسارَ الموجات الكهرمغنطيسية المرتحلة عبرها، بحيث تنحرف هذه الموجات لتدور حول منطقة كروية في داخل الصدَفة [*انظر المؤطر في أعلى هذه الصفحة*].

صحيحٌ أن رَجُلَ ويلْز الخفيَّ قد لا يُكتب له أن يصبح حقيقة واقعة على الإطلاق. غير أن مثل هذه الأفكار خليقةٌ فعلا بأن تصوِّر كم هي غنيَّةٌ تلك الخصائص الضوئية التي تلهم الباحثين في مضمار البلازمونيات، وتمكّنهم - عن طريق دراسة التآثر المعقَّد والمحكَم بين الموجات الكهرمغنطيسية والإلكترونات الحرّة - من تعرُّف طرائقَ جديدة محتملَة لنقل البيانات في داراتنا المتكاملة وإضاءة منازلنا ومكافحة مرض السرطان. ولعلّ الدراسات المستقبلية المتعمِّقة في هذه الظواهر البلازمونية المثيرة تَعِدُ بمزيدٍ من الاكتشافات والاختراعات المهمة في هذا السبيل. ■

(*) How a Cloaking Device Might Work

(1) metamaterials

المؤلف

Harry A. Atwater

أستاذ في جامعة هوارد هيوز وأستاذ الفيزياء التطبيقية وعلم المواد في معهد كاليفورنيا للتقانة. تتركز اهتماماته البحثية على ***التجهيزات الفوتونية فيما دون الطول الموجي*** subwave length scale photonic devices *للحوسبة وتطبيقات التصوير الفيزيائي والطاقة المتجددة. يعكف مع فريق عمله على استنباط بنىً نانوية پلازمونية، إضافة إلى دراسة استعمال مواد جديدة لتوليد الطاقة الشمسية وتوليد أنواع الوقود الكيميائي بالطاقة الشمسية.*

مراجع للاستزادة

Surface Plasmon Subwavelength Optics. William L. Barnes, Alain Dereux and Thomas W. Ebbesen in *Nature,* Vol. 424, pages 824–830; August 14, 2003.

Plasmonics: Localization and Guiding of Electromagnetic Energy in Metal/Dielectric Structures. Stefan A. Maier and Harry A. Atwater in *Journal of Applied Physics,* Vol. 98, No. 1, Article No. 011101, 10 pages; July 2005.

Plasmonics: Merging Photonics and Electronics at Nanoscale Dimensions. Ekmel Ozbay in *Science,* Vol. 311, pages 189–193; January 13, 2006.

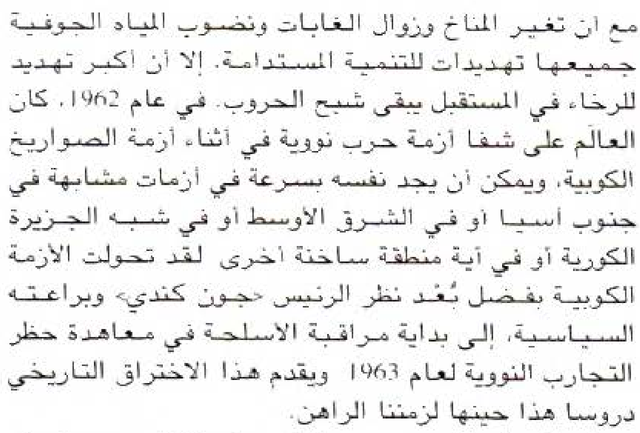
Plasmonics: Fundamentals and Applications. Stefan A. Maier. Springer Verlag, 2007.

Scientific American, April 2007

تهديدات الحرب، فرص السلام(*)

إن منع انتشار حرب سوف يعتمد على الاستراتيجيات التي تعترف بالمصالح المشتركة للخصوم.





مع أن تغير المناخ وزوال الغابات ونضوب المياه الجوفية جميعها تهديدات للتنمية المستدامة، إلا أن أكبر تهديد للرخاء في المستقبل يبقى شبح الحروب. في عام 1962، كان العالَم على شفا أزمة حرب نووية في أثناء أزمة الصواريخ الكوبية، ويمكن أن يجد نفسه بسرعة في أزمات مشابهة في جنوب آسيا أو في الشرق الأوسط أو في شبه الجزيرة الكورية أو في أية منطقة ساخنة أخرى. لقد تحولت الأزمة الكوبية بفضل بُعْد نظر الرئيس «جون كندي» وبراعته السياسية، إلى بداية مراقبة الأسلحة في معاهدة حظر التجارب النووية لعام 1963. ويقدم هذا الاختراق التاريخي دروسا هذا حينها لزمننا الراهن.

إن الأحداث التي جرت بين أواخر عام 1962 ومنتصف عام 1963 معروفة جيدا. فقد قامر الزعيم السوفييتي «نيكيتا خروشوف» بأن حاول وضع صواريخ أرض-أرض نووية هجومية في كوبا مخلا بوعود حول اقتصار الأسلحة السوفييتية في كوبا على الدفاعية منها. لكن الولايات المتحدة فاجأت السوفييت في منتصف عملية تركيب الصواريخ وفرضت حظرا بحريا. فوافق السوفييت على سحب الصواريخ الهجومية مقابل التزام من جانب الولايات المتحدة بعدم غزو كوبا وبضمان سري بإزالة الصواريخ النووية من تركيا في وقت لاحق. فبعد أن كانت الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي قاب قوسين أو أدنى من الحرب قاما في غضون أشهر قليلة بتوقيع اتفاقية حظر التجارب النووية.

إذًا كيف يجري الانتقال من شفا حرب إلى معاهدة سلام اختراقية في أقل من عام؟ كانت نقطة البداية المنهجية لدى «كندي» هي تجنب الحط من قدر الاتحاد السوفييتي أو الإعلان أن الخصم خبيث. وكان «كندي» يفترض لدى كل خطوة أن النظراء السوفييت عقلاء، مع أنهم ليسوا بالضرورة معصومين عن الخطأ فيما يختارونه من قرارات. وكان يفترض أن الاتحاد السوفييتي يود الحصول على مكاسب تكتيكية حين يتيسر له ذلك، ولكنه سوف يتراجع إذا كان ذلك قد يؤدي إلى تدميره.

سوف يصف علماء **نظرية المباريات** game theory المعاصرون استراتيجية «كندي» بأنها استراتيجية «**واحدة بواحدة، سمحة**» generous tit-for-tat (GTFT). حيث يتخذ لاعب موقفا متعاونا طالما اتخذ الطرف الآخر أيضا مثل هذا الموقف. فإذا بدأ اللاعب الثاني بالغش أوقف اللاعب الأول التعاون معه، لكي يُظهر للغشاش أن هناك عواقب وخيمة لانهيار هذه التسوية. لكن الباب يبقى مفتوحا بصورة سمحة أمام تعاون في المستقبل، إذا عاد الغشاش إلى الالتزام بالعرف. ويمكن أن يعود اللاعب الأول بصورة سمحة لبدء تعاون جديد أملا في إغراء الغشاش السابق بأن يرد بالمثل. والاستراتيجية GTFT ناجحة ومتينة لدرجة أن العديد من البيولوجيين التطوريين يفترضون أن هذه الاستراتيجية الأساسية مجبولة إلى حد ما بالمواقف البشرية.

لقد شرح «كندي» لاحقا أفكاره بقوله: «باختصار، لدى كل من الولايات المتحدة وحلفائها، والاتحاد السوفييتي وحلفائه، مصلحة متبادلة عميقة في سلام عادل وحقيقي وفي وقف سباق التسلح. وإن الاتفاقيات حول هذه الغاية هي في صالح الاتحاد السوفييتي كما هي في صالحنا... وحتى أكثر الأمم عداء يمكن أن يُعتمد عليها لكي تقبل وتلتزم بتلك الالتزامات من المعاهدة، وفقط بتلك الالتزامات من المعاهدة، التي هي في صالحها.» وأكد على ضرورة تجنب أن يذل المرء خصمه «وفي معظم الأحوال، ينبغي للقوى النووية، ونحن ندافع عن مصالحنا الحيوية، أن تتفادى تلك المواجهات التي تضع الخصم أمام أحد خيارين، إما تراجع مذل أو حرب نووية. واتباع مثل هذا السلوك في العصر النووي سيكون إما دلالة على إفلاس سياستنا أو على رغبة جماعية بفناء العالم.»

كانت آراء «كندي» راديكالية متطرفة في ذلك الوقت، لكنه كان يؤمن أن إمكانات التعاون لها مبرراتها في إنسانيتنا المشتركة «ففي التحليل النهائي، نجد أن رابطتنا المشتركة والأساسية الأهم، هي أننا جميعا نعيش على هذا الكوكب الصغير، ونحن جميعا نتنفس الهواء نفسه، وكلنا نهتم بمستقبل أطفالنا، ونحن جميعا فانون.» وبينما نواجه التحديات والتهديدات الحالية، فسوف ننجح إذا أدركنا أن نظراءنا وخصومنا، مثلهم مثلنا، يريدون البقاء على قيد الحياة وتأمين مستقبل أطفالهم. ومثلما حدث قبل 45 سنة، قد يبرهن التبصر الثاقب على أنه المفتاح لبقائنا أحياء آمنين. ■

المؤلف
J. D. Sachs
مدير معهد الأرض Earth Institute في جامعة كولومبيا

(*) Threats of War, Chances for Peace

الإذاعة الساتلية[*]

حُزم الأغاني

تستطيع الإذاعة الساتلية أن تبث لك برامج مئة قناة من الموسيقى والأحاديث وأنواع الرياضة عند أي ركن في شوارع بلدك. إضافة إلى ذلك يمكن لشخص مجاور لك استقبال مجموعة مختلفة من القنوات، في حين يتعذر على ثالث غير مشترك أن يستقبل شيئا على الإطلاق. إذًا كيف يمكن أن تكون الخدمة عامةً تغطي البلد بكامله، وتكون انتقائية بهذا القدر أيضا؟

تتولى ثلاث شركات توفير البث الإذاعي الساتلي في العالم: اثنتان موجَّهتان إلى الولايات المتحدة وهما الإذاعة الساتلية XM والإذاعة الساتلية سيريوس Sirius؛ وثالثة موجهة إلى إفريقيا وآسيا وأوروبا وهي الفضائية العالمية WorldSpace. أما الإذاعة XM فتستعمل **ساتلين ثابتين بالنسبة إلى الأرض**[1] geostationary satellites ونحو من 800 **مكرِّر**[2] repeater أرضي منخفض القدرة منتشرة حول المدن الكبرى، حيث يُحتمل أن تحجب المباني العالية «**خط بصر السواتل**»[3] (*انظر الشكل العلوي*). وأما الإذاعة سيريوس فتتكون من ثلاثة سواتل طوافة في مدارات إهليلجية الشكل شديدة الميل، ونحو مئة من المكرِّرات العالية القدرة، يغطي كل منها منطقة حضرية. وكلتا **المعماريتين** architectures **توفر خدمة متساوية الوثوقية**، كما يقول <D. كيبل> [أحد كبار علماء البحث في مختبر الدفع النفاث بكاليفورنيا، ومصمم مضخِّمات صوتية استُعملت سابقا في مكرِّرات أرضية].

يشير <كيبل> إلى أن «جهاز الاستقبال لدى المستعمل هو المبتكر بين أجزاء النظام جميعها»، إذ يلتقط **هوائية** antenna الإشارات الصادرة عن جميع سواتل ومكررات إحدى الشركات، سواء كان الجهاز محمولا أو مركبا في سيارة. وتقوم المعالجات الداخلية **باعتيان**[4] الإشارات الواردة واختيار أقواها، وتقوم بتحويلها حسب المطلوب باستمرار.

يقول <T. سميث> [النائب الأول لمدير التقانة في الشركة سيريوس] إن مفتاح التغطية في أي مكان وفي أي زمان يكمن إذًا في ثلاثة مستويات من التنوع: فهناك **التنوع المكاني** spatial diversity، «لأن ساتلا أو مكررًا قد يصل إلى مستمع ما حيث يفشل ساتل أو مكرر آخر في الوصول إليه». والسواتل والمكررات تبث على أطوال موجية متفاوتة تفاوتا طفيفا، محدثة **تنوعا في التردد** frequency diversity يستطيع جهاز الاستقبال أن يختار أيا من تردداته. كذلك تُرسل الإشارات بتأخر زمني بسيط، فتسبب **تنوعا زمنيا** temporal diversity يستدرك أي انقطاعات لحظية محتملة في الإشارة.

إن أجهزة الاستقبال حساسة لجميع القنوات التي تبثها إحدى الشركات، إلا أن جارَيْن لا يستطيعان أن يسمعا غير القنوات التي لهما اشتراك فيها. فعند الاشتراك يرسل الساتل رمز تفعيل متوافقا مع رقم اشتراكٍ وحيد مختزَن في جهاز الاستقبال. يوعز الرمزُ إلى جهاز الاستقبال بحجب القنوات التي لم يطلبها المشترك. وليس في وسع الجار أن يستعمل جهاز استقبال عاما، لأن مثل هذا الجهاز لا يحمل رقم اشتراك صحيحا ■

<M. فيشيتي>

(*) SATELLITE RADIO، والساتل هو قمر صنعي.
(1) أي يدوران متزامنين مع دوران الأرض فيبدوان ثابتين بالنسبة إليها.
(2) تجهيزة (نبيطة) تُستخدم لإعادة توليد إشارة بشدتها وشكلها الأصليين.
(3) line of sight: خط مستقيم لا يوجد على طوله ما يحجب رؤية الراصد.
(4) والاعتيان هو أخذ العينات. (التحرير)

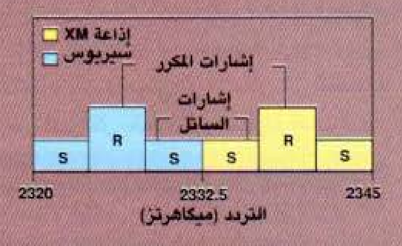
ساتل XM

تعيد المكرِّرات[2] بث إشارات الساتل. وتستعمل الإذاعة XM عادة عددا من مكررات صغيرة يوفر كل منها إشارة تراوح قدرتها بين 50 و 100 واط توزع في مواقع مختلفة من المدن الكبرى لملء الفراغات التي تسببها العوائق والالتفاف حولها. أما الإذاعة سيريوس فغالبا ما تستعمل مكررا واحدا كبيرا لإمداد مدينة كبيرة بقدرة تقع بين 400 و 2000 واط.

جهاز استقبال محمول

مكرر

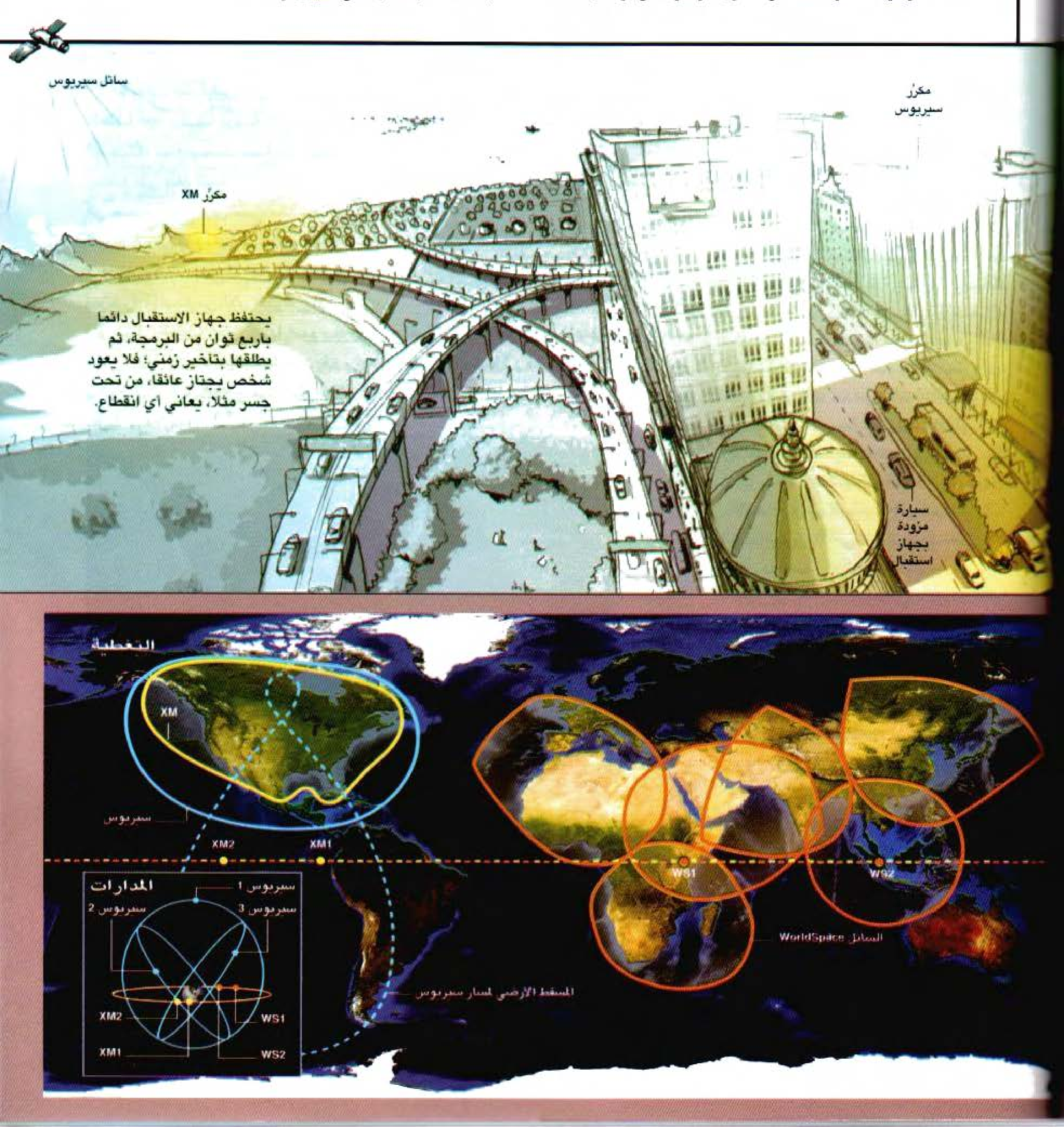
يعتان[4] جهازُ الاستقبال الإشاراتِ الواردة من السواتل والمكررات المتاحة جميعها، ويختار إذاعة أقواها في أي لحظة.



تقع ترددات الوصلة الهابطة downlink requencies، التي تصدرها المرسلات المستجيبة في سواتل الإذاعتين XM و سيريوس، في نطاق الحزم الموجية S. وينشر كل ساتل قنواته المئة على امتداد 1000 تردد ضمن طيف تردده 4 ميكاهرتز يقع بين طرفي المدى المعين للشركة. وتستعمل المكررات الطيف 4 ميكاهرتز الوسطى منها. وتعيد أجهزة الاستقبال تجميع الترددات في قنوات باستعمال تقنيات الطيف المدد spread-spectrum techniques. أما الإذاعة WorldSpace فتبث في نطاق الحزم الموجية L بين الترددين 1467 و 1492 ميكاهرتز.

السواتل الثابتة بالنسبة إلى الأر الواقعة فوق خط الاستواء تبث المجموعة الكاملة من قنوات الإذ XM بحيث تسقط حزمها على الق الأمريكية بزاوية محصورة بين الدرجتين 30 و 40 فوق الأفق. تستعمل الإذاعة سيريوس ثلاثة سواتل طوافة في مدارات شديدة الميل وإهليلجية الشكل، «بزاوية رؤية» أكبر من 60 درجة. وفي الو يرسم مسقط كل ساتل مسارا أرض له شكل الرقم 8 (*الخط المنقط*) و زهاء 16 ساعة فوق أمريكا الشم بحيث يبقى ساتلان يستمران في البث. أما الإذاعة WorldSpace فتستعمل ساتلين ثابتين بالنس إلى الأرض يُصدران ثلاث حُزم ك نقطية التركيز، تحمل كل حزمة مجموعة مختلفة من القنوات ل التي تغطيها.

- أنه عن طريق وصف الصوت الذي تحمله قناة ما بعدد منخفض من بتات البيانات، يستطيع الإذاعيون حشد عدد أكبر من القنوات (أو الصوتيات العالية الجودة) داخل شريحة طيفهم، دون الحاجة إلى تعديل أجهزة الاستقبال. عندما بدأت إذاعتا سيريوس وXM تقديم خدمتهما منذ نحو خمس سنوات، استعملتا نحو 60 قناة. ولكن تحسين أساليب ضغط compress إشارات التغذية من الاستوديو إلى الساتل رفع عددها إلى أكثر من 100 قناة. والأبحاث الصناعية جارية لمعرفة آلية تحسس جهاز السمع والدماغ البشريين بالأصوات المختلفة، بغية استنباط مزيد من خوارزميات الضغط الموفر للمكان.
- أن استديوهات بث إذاعة سيريوس في الطابق السادس والثلاثين من ناطحة سحاب في مانهاتن، وقد صبت أرضيتها الإسمنتية على قاعدة كيسية مطاطية ملئت هواءً لعزل الأرضية اللوحية عن دعامات البناء الأفقية؛ وهذا التعويم floating يُخمد الذبذبات التي تسببها حركة المرور والحفارات الهوائية وغيرهما من مسببات ضجيج المدن، والتي قد تتسرب إلى إشارة وصلة الساتل الصاعدة. إضافة إلى أن الضجيج يستنفد بتات الإشارة، إلا أن من العسير ضغطه بسبب طبيعته العشوائية.
- أن السواتل الإذاعية وكثيرا من السواتل التلفازية تبقى ثابتة في مداراتها (تحت تأثير قوتي جذب الشمس والقمر) بفعل حزم من الأيونات ion beams تنطلق مرتين يوميا لمدة قد تصل في كل مرة إلى ساعة واحدة. ويُذكر أن أكثر من 30 ساتل اتصالات تستعمل حاليا حزم الأيونات هذه التي يقول عنها «كيبل» [من مختبرات الدفع النفاث] إنها تخفض من كمية الوقود التي يتعين على السواتل حملها إلى الفضاء بعامل 10، عن مقدار الدفع الكيميائي المعتاد.



عروض ومراجعات كتب

<داروين> في حديقة الحيوان(*)

هل اخترع البشر الصواب والخطأ أم إن هذه المشاعر جزء مما توارثناه عن أسلافنا من الرئيسات؟

رئيسات وفلاسفة: كيف تنشأت الأخلاق
تأليف <F. ده ڤال>

PRIMATES AND PHILOSOPHERS: HOW MORALITY EVOLVED
by Frans de Waal. Edited by Stephen Macedo and Josiah Ober
Princeton University Press, 2006.

لم يقابل <تشارلس داروين> أحد **القردة العليا** ape وجهـا لوجه أول مرة إلا بعد انقضاء سنة ونصف سنة على عودته من رحلته على متن السفينة «بيگل». وكان ذلك في حديقة حيوان لندن، بالقرب من بيت الزرافة وفي يوم دافئ من أواخر الشهر 1838/3. وكانت حديقة الحيوان قد ضمت مؤخرا واحدة من الأورانگوتان orangutan (أو إنسان الغاب) أطلق عليها اسم <جيني>. وكان أحد الحراس يغيظها حين يقدم لها تفاحة ولكن لا يلبث أن يبعدها فلا تتمكن من تناولها. ولذا كانت المسكينة <جيني> «تطرح نفسها أرضا على ظهرها وترفس وتصرخ، تماما كما يفعل طفل شقي ثائر» ـ كما كتب <داروين> في رسالة إلى شقيقته يصف فيها هذا المسلك.

وكان <داروين> قد دوّن بعد رحلته في دفاتر مذكراته السرية أسس أفكاره عن التطور من جميع الجوانب والزوايا، حتى العاطفية منها. وقد أذهلته نوبة غضب <جيني>، وتساءل: ما إحساس الكائن الحي أن يكون من القردة العليا؟ هل إحساس الأورانگوتان بالإحباط وخيبة الأمل يشبه إحساسنا (نحن البشر) بذلك إلى حد كبير؟ هل انتاب هذه القردة شيء من الإحساس بالصواب والخطأ؟ وهل أصيبتْ باليأس والإحباط بسبب عدم محافظة الحارس على قواعد سليمة في اللعب؟ فهو لم يلعب بأمانة.

لقد بدأ نوعنا الخاص (الإنسان) الكلام بطلاقة وبعاطفة منذ 50 000 سنة على الأقل. ويُعتقد أن الأدلة المتعلقة بمفهوم الصواب والخطأ كانت واضحة في محادثاتنا منذ البداية. بدأنا كتابة الأشياء منذ 5000 سنة، وكانت بعض النصوص الأولى ترمز إلى الأخلاقيات. فالأعداد التي لا تحصى مما لدينا من نصوص مقدسة وقانونية ومحاكم عليا ودنيا ومحاكم ابتدائية ومحاكم استئناف ومحاكم تمييز، تعدّ فريدة في عالم الأحياء. ولكن هل نحن البشر من اخترع قيم الشعور أو الإحساس بالعدالة أم إن ذلك يعود إلى مجموعة العواطف الأولى التي ورثناها عن أسلافنا؟ وبتعبير آخر: هل نشأت مفاهيم الفضيلة أو الأخلاق بالتطور؟

لقد أمضى الباحث <فرانس دهْ ڤال> [الهولندي، الألماني المولد، المختص بعلم النفس والأخلاق والرئيسات] جُلّ حياته العملية في التحري عن سلوك القردة العليا التي غالبا ما تعيش ضمن مجموعات حبيسة في حدائق الحيوان. وبدأ منذ كان طالبا شابا يسجل ملاحظاته (يوميا لمدة ست سنوات) لمستعمرة من الشمپانزي وهو جالس على مقعد خشبي في حديقة حيوان أرْنِمْ Arnhem. وهو اليوم يتابع أبحاثه على الشمپانزي في المركز الوطني لأبحاث



ملابَسة عاطفية(1): شمپانزي شاب يواسي آخر كبير السن وهو يصرخ بعد أن هزم في قتال.

(*) DARWIN AT THE ZOO

(1) للفظ empathy معنى دقيق محدد. وتفيد معاجم اللغة الإنكليزية أنه يعني «القدرة على الدخول في شخصية فرد آخر، وتخيل معاناة تجاربه والإحساس بها»، وهي دلالة لا تؤديها ألفاظ التعاطف والمؤاخاة والمؤاساة ونحوها. وفي المعجم الوسيط، يقال: لابسَ فلان فلانا حتى عرف بِطْلته وباطنه. فـ«الملابسة العاطفية» هي أقرب المقابلات العربية للمصطلح الأجنبي. (التحرير)

الرئيسات التابع لجامعة إيموري في أتلانتا، وفي حدائق حيوان ومراكز أخرى مختصة بالرئيسات. و كان يقوم بعمله بالتعاون مع «جين كودال» [الاختصاصية في دراسة الرئيسات]، مما ساعد على رفع مستوى فهم الحدس الدارويني حول تطور الأخلاق إلى مستوى جديد، واستطاع توثيق عشرات الآلاف من حالات سلوكيات الشمپانزي التي قد نصفها نحن بين أنفسنا بأنها ماكيافيلية، وفي حالات أخرى ندعوها غيرية إيثارية، بل حتى نبيلة. ويبرهن «دِه ڤال» في نشراته العلمية وكتبه الشعبية (ومنها: ***«سياسات شمپانزية، داخلنا القردي وطبيعتنا الطيبة»***[1]) أن «داروين» كان مصيبا منذ النظرة الأولى لملاحظاته لـ«جيني» في حديقة الحيوان. فنحن نشارك حيوانات أخرى في مشاعرنا الخاصة **بالتعاطف** sympathy **والمُلابسة العاطفية** empathy وإدراك الصواب والخطأ؛ بل حتى أفضل ناحية من الطبيعة البشرية، الناحية المتعلقة بالاهتمام بالأخلاق والعدالة، هي أيضا جزء من سجايا الطبيعة.

ويستند كتاب «دِه ڤال» الأخير ***«الرئيسات والفلاسفة»***[2] إلى محاضرات «تانر» التي ألقيت في مركز پرنستون الجامعي للقيم البشرية عام 2004. وهو يحاول في هذا الكتاب ـ كما فعل مرارا من قبل ـ أن يدحض ويفنّد الصورة الساخرة (الكاريكاتيرية) الشعبية للداروينية. فكثير من الناس يعتقدون أننا لكي نتصف بالطيبة واللطف وحسن السلوك وأن نحسن معاملة الآخرين يجب أن نترفع ونتسامى فوق طبيعتنا الحيوانية في عالم «كلب يعض كلبا» أو كما يقول الرومان *homo homini lupus* أي: ***الإنسان ذئب للإنسان***[3] (وهو مثل غريب لقوم أوجدوا القصة الأسطورية التي تحكي قصة الوليد الذي أرضعته الذئبة مع صغيرها كتوأم: قصة *رومولوس وريموس*).

و كان «توماس H. هكسلي»، الذي نصّب نفسه الكلب الحارس (البولدُگ) لداروين، قد عزز هذه النظرة القاتمة الباردة للحياة في محاضرة شهيرة عن التطور و الأخلاق، فقال: «لا يتعلق التقدم الأخلاقي للمجتمع بتقليد المسار الكوني، ولا بالفرار منه، ولكن بمحاربته.» وفي رواية *«الإخوة كارامازوف»* لـ«F. دستويفسكي»، يعبر «إيڤان» عن هذا بأسلوب آخر: في حال عدم وجود إله سوف نضيع في فوضى أخلاقية. «فكل شيء مباح.» و هذا ما أطلق عليه «دِه ڤال» اسم **«نظرية المظاهر الخادعة»** Veneer Theory. وفي وجهة النظر هذه تكون الأخلاقيات أو القيم الأخلاقية البشرية مجرد **قشرة رقيقة على سطح جرة ماخضة من ذعر يغلي**[4].

وفي الحقيقة يذكرنا «دِه ڤال» بأن الكلاب اجتماعية، والذئاب اجتماعية، والشمپانزي وقرود المكاك اجتماعية. ونحن أنفسنا «اجتماعيون حتى النخاع». فالطيبة والكرم والحنان الأصيل يأتوننا بشكل طبيعي تماما كما تأتينا أحطّ المشاعر. فلم نكن نحتاج إلى اختراع الشفقة. وعندما بدأ أسلافنا بكتابة أول الأحكام الناظمة للسلوك والمبادئ الأساسية والقوانين والوصايا كانوا يحسّنون في مشاعر نشأت قبل ولادتهم بآلاف أو حتى ملايين السنين. ويذكر «دِه ڤال» في كتاباته أنه «قد تكون الملابسة العاطفية نقطة البداية، بدلا من كونها نقطة النهاية.»

وبالعودة إلى الخمسينات و الستينات من القرن العشرين، نجد أن **علماء نفس الحيوان**[5]، عندما كانوا يتحدثون عن «التعاطف» و«المُلابسة العاطفية»، كانوا دائما يضعون هذين التعبيرين بين علامتي الاقتباس («...»)، وهو ما يذكره «دِه ڤال» الذي يريد الآن إزالة علامات الاقتباس. وهو يشرح واحدة من أهم ملاحظاته وشواهده المتعلقة بحرص الحيوانات على الإنصاف: كان يُجري تجربة على أزواج من القردة **المُقَلْنَسة** capuchin التي تنجز مهمات بسيطة في أقفاصها المتجاورة. وكانت كلما أدت مهمتها بنجاح تنتظر أن تنال المكافأة، التي كانت أحيانا شريحة من الخيار وأحيانا أخرى عنبا. وكانت جميع القردة تبذل جهدها في العمل لتنال شرائح الخيار، ولكنها كانت تفضل العنب. فإذا أُعطي أحد القرود الخيار مكافأة له على الدوام وشاهد زميله في القفص المجاور يحصل على العنب فإنه يصاب بنوبة غضب شديد، كما فعلت «جيني داروين». وبعد ذلك يُضرب القرد عن الطعام أو يقوم برمي الخيار خارج القفص.

هل يُعَدُّ «دِه ڤال» محقا في كل هذه الأمور؟ في النصف الثاني من كتاب الرئيسات والفلاسفة يناقش حججه وينتقدها مجموعة من المعلقين والنقاد الذين كان كل منهم قد كتب ونشر دراسات مهمة تتعلق **بالأخلاقيات التطورية** evolutionary ethics. وهم يستشهدون بـ«فرويد» و«كانت» و«هيوم» و«نيتشه» و«آدم سميث»، ويدورون حول تلك الأزواج من القردة المقلنسة.

«هل كان المُقَلْنَس يرمي الخيار عندما يقدم لرفيقه العنب تعبيرا عن احتجاجه على الإجحاف واللاإنصاف أم إنه كان فقط ينتظر متطلعا إلى العنب؟» هذا هو السؤال الذي طرحه «Ch. كورسگارد» [أستاذ كرسي «آرثر كينجزلي پورتر» للفلسفة في جامعة هارڤرد].

أما «Ph. كيتشر» [أستاذ كرسي «جون ديوي» للفلسفة في جامعة كولومبيا] فقد كتب: «طبعا، لو كان المُقَلْنَس المحظوظ يرمي العنب حتى يحصل رفيقه على المكافأة نفسها لأصبح الأمر بغاية الأهمية.»

إنهم يختلفون ويناقشون ويتخاصمون قليلا، كما هي حال جميع الرئيسات والفلاسفة. وإنهم يسلطون الضوء ليس على التساؤلات الدائمة الأبدية فقط و إنما أيضا على التساؤلات الحالية المتعلقة مثلا باتفاقية جنيف، و«لماذا تبدو الملابسة العاطفية العامة مقترحا هشا؟»، كما يرد «دِه ڤال» على منتقديه. وفي نهاية الكتاب يبدو الأمر واضحا بأنه لايمكن الاستمرار في النظر إلى الأخلاق أو الفضيلة على أنها قشرة حضارية رقيقة فوق حيوان بارد وأناني، مع أن وجهة النظر هذه تعود إلى فترة طويلة سبقت ذهاب «داروين» إلى حديقة الحيوان. و يكمن أصلها في المفهوم الغربي للخطيئة الأصلية ـ عندما أكل آدم و حواء تفاحتهما الأولى. ■

(1) *Chimpanzee Politics, Our Inner Ape and Good Natured*
(2) *Primates and Philosophers*
(3) يقابله بالعربية: *«إذا لم تكن ذئبا أكلتك الذئاب»*.
(4) a thin crust on a churning urn of boiling funk
(5) animal psychologists

عرض ومراجعة

Jonathan Weiner

حصل على جائزة پوليتزر في عام 1995 عن **«منقار الحسون»** The Beak of the Finch، *وهو يُدرِّس الكتابة العلمية في مدرسة الصحافة بجامعة كولومبيا*

ذرات محتجَزة فوق شيپة(*)

ربما تفضي الشيپات الميكروية التي تتحكم في الذرات السابحة فوقها إلى ظهور حواسيب كمومية جديدة.

حتى عهد قريب كانت مصيدة الذرات النموذجية تتألف من شبكة معقدة من الملفات الكهربائية، تُصنع وفقا لمواصفات محددة، ثم تُضبط ضبطا دقيقا، ويقوم على صيانتها ثلة من طلبة الدراسات العليا المكرسين لذلك. أما اليوم فقد بات بإمكان العلماء تطويع تقانة الشيپات الميكروية (الصغرية) لصنع أجهزة منمنمة رصينة لاحتجاز سُحُب دقيقة من الذرات المبردة والتحكم فيها. وقد عرضت مجموعات بحث في الولايات المتحدة والنمسا وألمانيا نماذج ذرية من الألياف الضوئية والعدسات **الشاطرة للحزم الضوئية**(1) beam splitters، إضافة إلى **سير (حزام) ناقل** conveyor belt مغنطيسي لنقل الذرات بدقة - وجميع ذلك على تجهيزات تشبه في مظهرها شيپات حاسوبية بسيطة. ويقول <J. رايشل> [من معهد ماكس پلانك **للضوئيات الكمومية** quantum optics في كارشينك بألمانيا]: «هذه المصايد الميكروية هي أداة واعدة للحصول على تأثرات كمومية مترابطة على المستوى الذري، وتلك هي أهم مكونات الحاسوب الكمومي.»

ومنذ ما يزيد على عقد من الزمن يقوم الفيزيائيون باحتجاز ذرات (كتلك التي تتكون فيما يسمى تجارب تكاثف بوز-أينشتاين)(2) ومعالجتها باستخدام أدوات ميكروسكوبية (مجهرية) تولِّد اللفات الكهربائية في هذه العملية حقولا مغنطيسية تحتبس سحابة من الذرات، وتبردها إلى ما دون جزء من الألف من الكلفن، أي أعلى بقليل من الصفر المطلق. وفي عام 1995 اقترح <G. K. ليبرشت> وأحد تلاميذه [في معهد كاليفورنيا للتقانة] إمكان صنع مصايد ميكروسكوبية للذرات على شيپات. وبعد ست سنوات أصبح الاقتراح حقيقة واقعة باستخدام أسلاك مصنوعة بطريقة الطباعة الحجرية(3) على سطوح الشيپات، لتوليد حقول مغنطيسية بإمكانها احتباس الذرات وتوجيهها وهي على ارتفاع عشرات إلى مئات الميكرونات فوق سطح الشيپة.

ومازال إنتاج الذرات التي تقل درجة حرارتها عن الميلي كلڤن يُجرى حاليا ضمن مصايد معهودة، ومن ثم تُنقل إلى الشيپات، على أن يتم ذلك كله داخل **حجرة تفريغ (خوائية)** vacuum chamber. ومن مزايا المنظومات المعتمدة على الشيپات إحكامٌ أكبر للاحتباس ودقة التصاميم التي يمكن تنفيذها وسهولة بناء المنظومات المعقدة. يقول <J. شميدماير> [من جامعة هايدلبرگ]: «إذا نجحت في صنع تجهيزة واحدة على الشيپة، فأنت قادر بالتأكيد على صنع مليون منها.»

ولعل من أبسط الأدوات **دليل الموجة** wave guide، وهو المكافئ لليف ضوئي بالنسبة إلى الذرات؛ ذلك أن التيار الكهربائي الذي يمر في واحد أو أكثر من الأسلاك يولد حقلا مغنطيسيا ينضم إلى الحقول الخارجية. ويكون الحقل الكلي أضعف ما يمكن على ارتفاع قصير فوق السلك على امتداد مساره، وذلك يُحدث قناة تحصر الذرات المغنطيسية المبرَّدة. وفي عام 1999 قام <Z. D. أندرسون> و<A. E. كورنل> وزملاؤهما [في المعهد المشترك للفيزياء الفلكية المختبرية وجامعة كولورادو في بولدر] بنقل ذرات مبرَّدة حول عدة منحنيات باستعمال أدلة كهذه على ركيزة من **السفير**(4) sapphire. كذلك أجرت <M. برينتس> ومساعدوها [من جامعة هارڤرد] تجارب على توجيه الذرات فوق الشيپات.

ويتحدث <شميدماير> وفريقه في مقالات حديثة لهم عن شاطرة حزمة للذرات على



يستطيع حزام ناقل على شيپة أن يزلق الذرات على امتداد المسار المركزي الذي يبلغ عرضه 50 ميكرونا.

شيپة نانوية القياس، صنعوها عندما كانوا في جامعة إينسبروك بالنمسا. يعمل جهازهم على أسلاك بعرض 10 ميكرون - وهي أصغر ما استُعمل من أسلاك في هذه التجارب - صُنعت بوساطة حفر طبقةٍ من الذهب على ركيزة من زرنيخيد الگاليوم يلاحظ انشطار السلك، وكذا حقله المغنطيسي الموجِّه للذرات، إلى شكل Y ويمكن التحكم في التيارات ضمن السلك بحيث يتجه نصف عدد الذرات المتحركة على امتداد جذع الشكل Y إلى داخل إحدى الذراعين، في حين يدخل نصفها الآخر الذراع الأخرى، تماما شأن الفوتونات التي إما أن تنعكس وإما أن تنتقل محمولة على شاطرة حزمة ضوئية. وكان فريق البحث في

(*) TRAPPED OVER A CHIP

(1) شاطرة الحزمة: مرآة من نوع خاص تعكس جزءا من الحزمة الضوئية التي تقع عليها، وتنقل جزءا آخر.

(2) Bose-Einstein condensation: ظاهرة تشاهد عند دراسة نظم البوزونات، إذ توجد درجة حرارة حرجة تكون تحتها الحالة الساكنة لأدنى طاقة للجسيمات شديدة الازدحام [انظر: «بوز أينشتاين»، **العلوم**، العدد 11 (2000)، ص 54]

(3) lithograph

(4) ياقوت أزرق

(التحرير)

حزمة الذرات تنشطر بوساطة دليل موجي مغنطيسي نانوي القياس

كولورادو قد عرض في مطلع عام 2000 شاطرة حزمة أكبر مؤلفة من دليليْ ذرات يتقاطعان على شكل X ضيق جدا. تنتقل الذرات المنفعلة على امتداد الأدلة الموجية هذه، مدفوعة بطاقتها الحرارية. وقد عرض <رايشل> و<T. W. هينش> ومساعدوهما حزاما ناقلا يقوم بترحيل الذرات ترحيلا فاعلا. فقد استعاضوا عن المسار المنتظم ذي الحقل الضعيف فوق سلك الدليل بشبكة أسلاك ذات مسننات تربيعية على كل من الجانبين تجزّئ الأنبوب المغنطيسي إلى سلسلة من مصايد للذرات بطول 0.5 مليمتر. ويؤدي تغيير التيارات الكهربائية إلى تحريك المصايد على طول الدليل حاملة ذراتها معها (يمكن الاطلاع على فيلم يوضح هذه العملية في الموقع: www.mpq.mpg.de/~jar/conveyor.html). ويمكن استعمال الحزام الناقل لتحريك الذرات في حاسوب كمومي من بوابة منطقية إلى أخرى. إضافة إلى إمكان إجراء تجارب أساسية بوسائل شتى، منها مثلا فصل سحابة من الذرات - أو الدالة الموجية لذرة وحيدة - ثم جمعها من جديد بغية دراسة التداخل الكمومي.

على أن بعض القضايا بهذا الشأن مازالت محل تساؤل: فجميع التجارب التي أجريت استُعملت فيها ذرات في عدد من الحالات - أي إن السُّحُب لم تكن في حالة كمومية صرفة، وهذا مطلب حاسم للحوسبة الكمومية، التي تعتمد على انحفاظ الشروط الكمومية مثل التراكب superposition. يُذكر أن فريقيْ كولورادو و<رايشل> يعملان حاليا على تمرير نواتج تكاثف بوز-أينشتاين عبر تجهيزات الشيبيات الميكروية. وهذا يمثل تطورا يؤذن بانطلاق دراسات كمومية حقيقية.

ويرى <رايشل> أن مصايد الذرات على الشيبيات الميكروية، وإن كانت في بداية الطريق، هي من أكثر الوسائل التي يُؤمل نجاحها في مجال الحواسيب الكمومية المتوسطة المرتبية، لأن «من الميسور رفع [الشيبيات الميكروية الذرية] إلى أعداد أكبر من **البتات الكمومية** qubits». ويشير <شميدماير> إلى احتمال ظهور مشكلات قد تفسد الفائدة المرجوة من شيبات الذرات في معالجة المعلومات الكمومية. ويقول: «سيتبين لنا في غضون خمس سنوات هل هي مشكلة فيزيائية تستحق الاهتمام، أم أنها أداة يمكننا استعمالها فعلا.» ■

<P. G. كولينز>

عصف القذائف(*)

سلاح إلكتروني لا يحتوي على قطع ميكانيكية ويقذف مليون طلقة في الدقيقة.

«عندما يسمع المرء للوهلة الأولى عن سلاح ناري لا يحتوي على أية قطعة ميكانيكية متحركة، فإنه ينزع إلى الضحك. لقد حدث الأمر معي شخصيا، واضطررت لأن أمسك نفسي عن القهقهة،» هذا ما يذكره الفيزيائي <A. دروبوت> [من الشركة العالمية للتطبيقات العلمية (SAIC) ومقرها سان دييگو، وهي تهتم بتقييم التقانات الجديدة]، قبل أن يضيف: «ولكن عندما ترى شريط الڤيديو المسجل عليه اختبار الرمي، فإن الدافع إلى القهقهة سرعان ما يتلاشى.»

والسلاح المعني، الذي أُطلق عليه اسم «**العاصف المعدني**»(1) Metal Storm، غريب عن المألوف، حتى بنظر مخترعه: فهو لا يحتوي على قادح ولا زناد ولا **كتلة مغلاق**(2)، ولا حتى على أغلفة مقذوفات تُلفظ. والأغرب من ذلك أنه قادر على إطلاق النار من ماسورة (سبطانة) واحدة بمعدل مليون طلقة في الدقيقة. وبالمقارنة، فإن أسرع الأسلحة النارية المعهودة (المعروفة باسم بنادق كاتلينك Gatling) لا تطلق إلا 6000 طلقة في الدقيقة.

أما أصول العاصف المعدني فهي غير مألوفة أيضا. فقد اخترع السلاح **مُرقّق حرفي**(3) timberer أسترالي يعيش معزلا ويدعى <M. أودوير>، وقد كان في السابق يبيع البقالة بالجملة، ولم يدرس في حياته رسميا علم القذائف ولا الهندسة. وكانت براءات الاختراع التي حصل عليها من قبل تتعلق بأدوات مثل الأحذية الرياضية المبرّدة بالهواء («يُضخ الهواء عبرها بفعل الجري،» كما يقول). ومع ذلك، وبعد 15 عاما من التجربة والخطأ في منزله في مدينة كوينزلاند طلع <أودوير> بنموذج أولي من سلاح رشاش استطاع أن يطلق 180 طلقة من عيار 9 مم خلال 0.01 ثانية، أثناء عرض جرى مؤخرا أمام عناصر عسكرية في أدليد. وتنطلق طلقات «العاصف المعدني» من ماسورتها بسرعة، بحيث إن الفاصل بين طلقتين متلاحقتين منها من مرتبة **الميكروثانية**(4) - عندما تنطلق طلقة في الهواء، فإن الطلقة التالية تبعد عنها 10 سم (4 إنشات) فقط إلى الوراء. أما في الأسلحة الآلية المتوافرة حاليا، فإن تلك الفرجة بين الطلقات هي بحدود 30 مترا.

ويقول الرائد <D. كوين> [خبير الأسلحة في «مقر قيادة الدفاع الأسترالية»] إن «بإمكان هذه التقانة أن تحل محل التقانات

(*) TAKING BALLISTICS BY STORM
(1) أو وابل المعادن
(2) breechblock
(3) مصطلح عام (على قدر استطاعته)
(4) أي جزء من مليون جزء من الثانية. (التحرير)

المعتمدة لدينا حاليا في ميدان المعركة.» فالسلاح المعني مثالي في ظروف الالتحام، مثلا عند الدفاع عن السفن ضد الصواريخ القادمة. وقد علق «كوين» قائلا: إنه يمكن استخدام هذا المدفع الرشاش لكسح الألغام البرية في المناطق المفتوحة، كالصحراء الكويتية مثلا، بأن تحلق حوامة فوق الرمال وتطهر حقل الألغام عن طريق رشه من بعد، مؤدية إلى تفجير الألغام من دون ضرر.

ويعمل السلاح عن طريق الجمع بين طلقات مصممة تصميما خاصا وآلية إطلاق إلكترونية يصفها «أودوير» بأنها «ماسورة معلق فيها سلك كهربائي.» وتصطف الطلقات المجردة من غلافها المعدني داخل الماسورة رأسا لِعَقِب، بحيث تفصل بين الواحدة والأخرى طبقة من **المتفجر الداسر**(1). وعندما يمر تيار كهربائي في السلك، تندفع الطلقات واحدة تلو الأخرى. وكي تُمنع تلك الطلقات من الانفجار في الوقت نفسه ـ وهي مشكلة سبق أن صودفت عندما وُضعت طلقات عديدة في ماسورة واحدة ـ فقد صمم «أودوير» الطلقات كي «تعمل معا». فالضغط العالي الناجم عن إطلاق القذيفة الأولى يجعل رأس القذيفة التالية في الصف «ينتفخ» ضاغطا على الجدار ومكونا سُدادة مؤقتة تغلق الطريق أمام باقي الطلقات في الماسورة (باستخدام مصطلحات علم القذائف، يعمل رأس القذيفة التالية فعليا عمل كتلة المِغلاق لمنع حدوث **اشتعال متوالف**(2) يصعب السيطرة عليه). وبعد أن تخرج الطلقة الأولى، ينخفض الضغط وينكمش رأس القذيفة التالية فتصبح قادرة على الانطلاق. وتستمر هذه العملية تباعا من أجل كل طلقة.

وباستثناء الطلقات ذاتها، لا توجد أية قطعة أخرى متحركة. ومن أجل الحصول على مزيد من الطاقة النارية، يمكن تركيب عدة ماسورات جنبا إلى جنب. وعندما تُستهلك إحدى الماسورات، تُطرح جانبا أو تعاد إلى المصنع لحشوها من جديد.

لقد جرت من قبل تجربة أصناف متنوعة من الأسلحة ذات الإطلاق الكهربائي. فمثلا، قامت مختبرات سانديا الوطنية بتطوير مدفع ذي ملف (وشيعة) كهرمغنطيسي يسمح بدفع سواتل تزن 100 كغ إلى مداراتها. ولكن عددا من الفوارق يميز بين هذين النهجين، كما يلاحظ «ر. بوري» [الباحث الرئيسي في المنظمة الأسترالية لعلوم الدفاع وتقاناتها] إذ «يتطلب المدفع ذو الملف الكهرمغنطيسي قدرا كبيرا من الطاقة. وهو يسمح بالحصول على سرعات عالية، وبدفع أجسام كبيرة إلى مسافات بعيدة. وعلى العكس من ذلك، يحتاج «العاصف المعدني» إلى قدر أقل من الطاقة، ويعمل بمعدلات سرعة أدنى، ويستخدم حشوات متفجرة عادية. فهو يطلق قذائف أصغر حجما لمسافات أقصر ولكن بعدد أكبر في الدقيقة.»

ويشير أودوير إلى ميزة أخرى من ميزات الأسلحة من نمط «العاصف المعدني». لما كانت الإلكترونيات جزءا متكاملا من صنعة تلك الأسلحة، فإن ذلك يساعد على إدماج آليات أمان وحماية إلكترونية فيها، مثل كتلة مفاتيح وقائية. فإذا حاول مستخدم غير مخوّل تجاوز أمان السلاح عن طريق تعطيل الآلية الإلكترونية، فإن السلاح ببساطة لن يطلق النار. وللجهاز أيضا استخدامات عديدة غير عسكرية، كما يلحظ «دروبوت»، فيمكن لنموذج معدّل منه أقل سرعة أن يحل محل المطارق الآلية للمسامير التي يستخدمها النجارون وعمال البناء، وأن تكون مفيدة في أعمال **البرشمة** riveting، وفي تطبيقات صناعية أخرى.

ويلاحظ «كوين» أن تقانة السلاح مازالت تحتاج إلى ضبط دقيق إضافي، فهي مثلا لا تسمح إلا برمي طلقات من عيار صغير نسبيا. ولكن فيزيائيين مثل «بوري» يقولون بأن التصميم الأساسي «متين للغاية.» وتقوم المفوضية الأسترالية للتجارة بالترويج للسلاح، الذي جذب إليه الأنظار في أستراليا وبريطانيا.

وفي الولايات المتحدة، قامت شركة جنرال ديناميكس General Dynamics باختبار السلاح. وجرى التعاقد مع



سلاح ناري إلكتروني متعدد الماسورات يعرضه مخترعه «M. أودوير».

الشركة SAIC للمساعدة على تطويره أكثر. وقد حضر «A. F. ملتون» [المسؤول الأسبق عن مشتريات السلاح لصالح الجيش الأمريكي والمدير الحالي لمختبر الرؤية الليلية التابع للجيش] اختبار رمي أجري على «العاصف المعدني» في أستراليا عام 1998. وقال بإعجاب: «برأيي، يمثل «العاصف المعدني» منحى تجديديا حقيقيا في مجال الأسلحة الفتاكة. وفي حال تطويره أكثر، فستكون له إمكانات كبيرة في مجال نظم الأسلحة الدفاعية، التي يمكن أن تفيد من معدل رشق النار الفائق الذي يتميز به.»

ويبدو أن أكثر ما يثير دهشة الخبراء في هذه التقانة هو مصدرها. ويعلق «دروبوت» على ذلك: «أحيانا، يحتاج الأمر إلى شخص غير اعتيادي للإتيان بأفكار جديدة. وأكثر ما يدهشني هو أن «أودوير» أثناء صنعها لم يُفجِّر ماسورة أو يقتل نفسه.» ■

(1) propellant
(2) sympathetic ignition

المؤلف
Dan Drollette
كاتب من أستراليا

بانتظار السيارة الخارقة[*]

قد تكون الأهداف المفرطة في الطموح قد أضرّت بـ«الشراكة من أجل جيل جديد من الآليات» (PNGV)[1].

في احتفال أقيم في الحديقة الوردية بالبيت الأبيض عام 1993، أعلن بحفاوة بالغة عن ولادة «الشراكة من أجل جيل جديد من الآليات». وقد قُدمت تلك الشراكة كواحدة من المحاور التقانية الاستراتيجية لدى إدارة الرئيس <كلينتون>. ففي تعاون غير مألوف النطاق، جرى الاتفاق على أن تقوم المختبرات الوطنية التابعة للحكومة، وصانعو السيارات «الثلاثة الكبار» في الولايات المتحدة[2]، ومقاولوهم الفرعيون الكثر، بالعمل معا خلال عقد من الزمن من أجل صنع «سيارة خارقة» تتمتع بمعدل لكفاءة الوقود (استهلاكه) مساو لـ80 ميلا في الكالون[3] (أي ما يعادل 3 لترات لكل 100 كم؟)؛ وبمعدل منخفض لانبعاث الملوثات؛ وتتصف بوجه خاص، من حيث الأداء والسلامة والراحة والسعر، بالمواصفات نفسها التي تتصف بها سيارة سياحية متوسطة الحجم تتسع لخمسة ركاب.

وقد كان المنطق الذي استندت إليه فكرة الشراكة سديدا، وهو إعطاء دفعة تنشّط الابتكار في المختبرات[4] الوطنية (التي كانت وقتها تبحث عن مهمة جديدة لها بعد انتهاء الحرب الباردة) عن طريق تمويل البحث والتطوير في مجال التقانات ذات المجازفة العالية أو التي يُتوقع أن تكون عوائدها الاقتصادية بعيدة الأمد، إلى درجة لا تشجع صانعي السيارات على المضي فيها على حسابهم الخاص.

ولكن الواقع لم يرْقَ إلى مستوى ذلك المنطق. فبعد المضي في منتصف طريق مشروع السنوات العشر المنشودة، وجد بعض خبراء التقانات المتقدمة في السيارات أن الشراكة لم تعط إلا ريعا ضئيلا جدا في مقابل بليوني الدولار التي أُنفقت تقريبا على البرنامج، والتي دفعت الحكومة حوالي نصفها. هذا في الوقت الذي أقرّ الموظفون الرسميون في الشراكة أنفسهم بأن بناء نموذج أولي جاهز لإنتاج سيارة تبلغ كفاءة الوقود فيها 80 ميلا/كالون وتفي بجميع المعايير الأخرى، هو أمر بعيد الاحتمال. وتبدو مواطن الضعف أكثر وضوحا على ضوء نجاح شركة تويوتا في إنزال عربة هجينة[5] متطورة إلى السوق.

وفي الوقت ذاته، واجهت الشراكة عددًا من المشكلات، منها بالبنية الإدارية الصعبة المراس، وعدم وضوح مستقبل شركة ديملر كرايسلر ـ ومقرها ألمانيا ـ ضمن البرنامج المدعوم فدراليا. ولعل أبرز تلك المشكلات هو الهدف الطموح الذي وضعته الشراكة لنفسها للوصول إلى كفاءة وقود مساوية لـ80 ميلا/كالون، والذي يعتقد بعض النقاد أنه لم يكن واقعيا على الإطلاق.

وبحسب ما يراه النقاد، فإن هدف كفاءة الوقود هذا ـ قل عنه ما شئت سوى أنه ممكن التحقيق! ـ يجبر الباحثين، مدة أطول مما ينبغي، على الجد في طلب تقانات بعيدة المنال، مثل **الحدافات**[6] plywheels والمكثفات الفائقة السعة. وبحسب ما يرى <A. كوكوني> [مصمم الآليات الكهربائية والهجينة الشهير] «كان هناك انحياز غير مبرر نحو التقانات الطليعية غير الناضجة، والتي لم يكن لديها كبير حظ في النجاح.» وأضاف: «لقد التزموا ببعض المتطلبات بشكل جازم إلى درجة أنهم لم يصلوا إلى نتيجة على الإطلاق.»

أما <J. كيج> [أحد المسؤولين التنفيذيين السابقين في كرايسلر] فقد ذكر أن الشراكة باشرت أعمالها في أوائل التسعينات واضعة هدفا مفرطا في الطموح، وكانت بعض غاياتها استرضاء مسؤولي حماية البيئة. وقال <كليج>: «لقد نجت الصناعة من محاولة قوية استهدفت رفع قانون [وسطي كفاءة الوقود] إلى معدل 40 ميلا/كالون.» وأضاف: «إن الشراكة قد نجحت في تهدئة خواطر مسؤولي حماية البيئة بأن وضعت نصب أعينها هدفا ليس هو نفسه متأكدا، حتى من كون هذا الهدف ممكنا من الناحية الترمودينامية. وطبعا، يعتمد ذلك على الفرضيات التي يضعها المرء. والفرضيات التي وضعتها أنا شخصيا تدل على أن الأمر غير ممكن من أجل سيارة بالحجم الكامل وتتسع لخمسة ركاب. وقد كانت الشراكة بديلا عن اعتماد سياسة واقعية وفعالة في مجال الاقتصاد في الوقود. وفي حين كانت تلك الشراكة تمضي قدما، تمكّنت الشاحنات الخفيفة من اقتناص 50% من مبيعات السوق، وبمعدل كفاءة وقود يقع في المجال 13-17 ميلا/كالون. لقد عدنا ثانية إلى السبعينات.»

كما انتقد <V. ووك> [وهو مستشار محنّك في مجال العربات الهجينة] أهداف الشراكة الطموحة، ولكن لسبب مختلف، عندما صرح قائلا: «إن شركات فورد وجنرال موتورز وكرايسلر تريد الفوز بالسعفة الذهبية منذ الضربة الأولى.» وأضاف: «فيما كنا نتكلم عن السيارات الهجينة، كان اليابانيون يصنعون واحدة منها!» مشيرا إلى سيارة بريوس Prius من صنع شركة تويوتا. وهي ليست تماما السيارة الخارقة التي تتصورها الشراكة؛ لكنها سيارة سياحية صغيرة يقع معدل كفاءة الوقود فيها بين 50 و 66 ميلا/كالون. وقال <ووك>: «إنها مع ذلك تكوّن قاعدة صلبة يمكن البناء عليها.» وفي الوقت نفسه، ألح أحد المسؤولين التنفيذيين لدى الثلاثة الكبار على أن «تركيز الاهتمام على هدف الـ80 ميلا/كالون، إن كان له دور، فهو التخفيف من الضغط على التقانات التي نريد إنزالها إلى السوق على المدى الأقرب.»

ولكن أنصار الشراكة وجدوا أن الأهداف

(*) WAITING FOR THE SUPERCAR

(1) the Partnership for a New Generation of Vehicles

(2) وهي شركات فورد وجنرال موتورز وكرايسلر ومؤخرا اتحدت الشركة الأخيرة مع شركة ديملر-بنز الألمانية، فظهرت إلى الوجود شركة ديملر كرايسلر

(3) أو نحو 700 كم في الصفيحة سعة الـ20 ليترا بحسب المقاييس المتبعة في بلادنا (والكالون في الولايات المتحدة يعادل 3.785 لتر)

(4) ويقال أيضا المخابر، جمع مخْبَر

(5) تستمد السيارة الهجينة طاقتها من مصدرين مختلفين، مثلا الوقود والكهرباء، كما هو مقصود في هذه المقالة

(6) أو عجلات تنظيم السرعة. (التحرير)

الطموحة كانت مُحفزة. وقد قال «A. موراي» [المسؤول التنفيذي عن متابعة عمليات الشراكة لدى فورد] عن هدف الـ80 ميلا/كالون: «لقد مرت بنا جميعا أوقات عصيبة ونحن نحاول «ابتلاع» هذا الهدف والبدء بالعمل لتحقيقه. ولكن ذلك دفعنا لإعادة النظر في كل جانب من جوانب الآلية. لذا ينبغي لنا الاعتراف له بشيء من الفضل.» أما «G. جوي» [رئيس مجموعة العمل الفنية الخاصة بالشراكة لدى وزارة التجارة، وهي الهيئة الحكومية صاحبة الصدارة في البرنامج] فحاول البرهان على أن الشراكة ستحقق نجاحا باهرا «إذا تدبرنا الأمر بحيث نخرج بآلية معتدلة السعر ورفيقة للبيئة.» ويقع معدل كفاءة الوقود فيها بين 55 و60 بدلا من 80 ميلا/كالون، لكنها في المقابل تحقق التطلعات المتوخاة من السيارة الخارقة. إضافة إلى ذلك، فإن المسؤولين التنفيذيين في الشراكة ركزوا اهتمامهم على هدفين آخرين أقل شيوعا: تحسين التنافسية التصنيعية بوجه عام، والإتيان بتقانات جديدة إلى مجال إنتاج الآليات من أجل تحسين كفاءة الوقود ومستوى انبعاث الملوثات.

ولسوء حظ هؤلاء المسؤولين، فإنهم لم يكونوا يعرفون المواصفات القياسية لانبعاث الملوثات التي يجب أن يعملوا على تحقيقها. فالمعايير المعروفة باسم Tier 2، والتي تُعنى أساسا بالجسيمات الدقيقة والأكاسيد النتروجينية (NO_x) كانت قيد الصياغة في وكالة حماية البيئة EPA.

وتقع توصية الوكالة EPA الخاصة بانبعاث الأكاسيد NO_x تحت حد الـ0.2 غرام في الميل الواحد، ولا تزيد بالنسبة إلى الجسيمات الدقيقة[1] على 0.04 غرام في الميل (في الولايات المتحدة عادة محيّرة: هي خلط وحدات النظام المتري مع الوحدات الإمبراطورية البريطانية في معدلات انبعاث الملوثات!) وهناك ضغط متعاظم يدفع نحو تطابق حدود الانبعاث في مواصفات Tier 2 مع أحدث المواصفات الخاصة بـ«الآليات ذات معدلات الانبعاث المتدنية للغاية» (ULEV) التي أصدرها «مجلس الموارد الجوية في كاليفورنيا»، وهي 0.05 غرام/ميل بالنسبة إلى الأكاسيد NO_x و 0.01 غرام/ميل فيما يتعلق بالجسيمات الدقيقة.



سيارة «دودج إنتربيد» الهجينة قد تكلف أكثر من سيارة معهودة، وذلك وفق توقعات ديملر كرايسلر

ومنذ عام 2001 تخضع نسبة متزايدة الارتفاع من الآليات المباعة في كاليفورنيا لحدود ULEV. وبحلول عام 2010، يُفترض في معظم السيارات المباعة في الولاية ألا تكون أكثر تلويثا للبيئة من حدود ULEV. وقد تؤدي هذه الحقيقة بالشراكة إلى مشكلة، لأن معدلات الانبعاث الخاصة بذاك النوع من الآليات قد تكون مستحيلة التحقيق في السيارة الخارقة، إن كانت لها الخصائص الأخرى المبتغاة.

أما في السيارات الهجينة الكهربائية، فإن مجرد الاقتراب من معدل كفاءة وقود مساو لـ80 ميلا/كالون، سيتطلب على الأغلب استخدام محركات الديزل، المشهورة في ارتفاع معدل انطلاق الجسيمات الدقيقة منها. وفي المقابل، فإن استخدام المحرك المعهود ذي الاحتراق بالشرر يمكن أن يحقق مطلب إطلاق الجسيمات الدقيقة، ولكن سيكون من غير المحتمل عندها تحقيق مطلبيْ كفاءة الوقود وانبعاث الأكاسيد NO_x المنخفض. ويقرّ «جوي» قائلا: «إن الجمع بين معدلي هذين الانبعاثين المنخفضين سيضعنا أمام عقبة تقنية فريدة من نوعها.»

وخلال ذلك، قام كل واحد من صانعي السيارات الثلاثة الكبار، تدليلا على مدى تقدمه، بالعمل على إنتاج عربة هجينة. وعندما سُئل مديرو الشراكة كيف، بالضبط، أفادت الأفكار المستخدمة في تلك السيارات من البرنامج، لم يكن باستطاعة أي منهم أن يحدد مباشرة تقانة بعينها انبثقت عن عملهم التعاوني مع الحكومة. ولكنهم جميعا أعلنوا دعمهم المفعم بالثقة للشراكة.

وربما كان الأمر الأكثر مغزى هو أن هؤلاء المديرين أكدوا أن التحالف له فوائد بارزة خارج المضمار التقني. فقد ذكر «V. فازيو» [مدير برنامج الشراكة لدى فورد] بأن البرنامج له أثر مساعد في «تعزيز مقدار الثقة بين واضعي الأنظمة في واشنطن والصناعة.» ويوافق «S. تسيمر» [من ديملر كرايسلر] على ذلك مضيفا أنه بفضل تمثيل الهيئات الواضعة للأنظمة (مثل وكالة حماية البيئة) في الشراكة، أصبح «بإمكاننا على الأقل إجراء حوار حول جداول الأعمال الخاصة بكل واحدة من هذه الهيئات.» وفي جنرال موتورز، قال مدير برنامج الشراكة «R. يورك» إنه بفضل البرنامج «تعلَّمنا أن نجمع الفائدة من العمل التعاوني والعمل التنافسي لإنجاز المطلوب.» وقد كان الثلاثة الكبار محرومين من التعاون حتى منتصف الثمانينات. أما منتقدو الشراكة، فقد ألحوا من جهتهم على أنه كان بالإمكان تحقيق تلك الإنجازات بقدر أقل من التكاليف.

إضافة إلى جميع العقبات التقنية، فإن أحد التحديات الأكثر صعوبة التي ستواجه صانعي السيارات في السنوات القادمة هو التسويق: إذ يبدو أن مقتني السيارات غير راغبين، أكثر من أي وقت مضى، في دفع أي مبلغ إضافي مقابل الحصول على كفاءة وقود أفضل. وكما لاحظ «فازيو»: «فالنقطة الجوهرية هنا هي محاولة تطوير تقانة لا تضطر المستهلك إلى دفع تكلفة زائدة مقابل الحصول عليها.» تلك هي «القضية الاستراتيجية الأخطر التي سنواجهها.»

قبل أعوام، عندما ساعد دعم «آل گور» على جعل «الشراكة من أجل جيل جديد من العربات (PNGV)» حقيقة واقعة، كان نائب الرئيس الأمريكي كثيرا ما يقارن ذلك البرنامج بمشروع أبولّو. ولم تخف تلك المقارنة على «فازيو» الذي يملك رؤيته الخاصة لها: «هذا المشروع أصعب من الذهاب إلى القمر، لأننا نحاول أخذ 200 مليون أمريكي معنا.» ■

«G. زوريت»

(1) particulate emissions